

5 laboratorinis darbas

TECHNOLOGINIŲ PROCESŲ TEMPERATŪROS KONTROLĖ MATAVIMO PRIETAISAI IR TERMOINDIKATORIAI

Darbo tikslas

1. Pagilinti žinias apie temperatūros kontrolę gaisrinės saugos aspektu.
2. Įgauti įgūdžių, kontroliuojant temperatūrą matavimo priemonėmis bei termoindikatoriais.

Teorinė dalis

Technologinių procesų eigai, o galiausiai gaisro ir sprogimo pavojui ypač daro įtaką temperatūros veiksnys. Kai dėl kokių nors priežasčių normaliaame technologiniame procese pakyla darbinio agento (dujų, skysčio, lydalo) temperatūra, pakinta ne tik proceso greitis, bet dažnai iškyla reali avarijos grėsmė. Sąlygiškai šiuo atžvilgiu temperatūros įtaka gali būti tiesioginė arba netiesioginė. Tiesiogiai pakitusi agento temperatūra gali priartėti prie pliūpsnio ar užsiliepsnojimo temperatūrų, viršyti užsiliepsnojimo temperatūros ribas ir kt. Netiesiogiai, bet funkciškai temperatūra lemia daug kitų rodiklių: užsiliepsnojimo koncentracines ribas, slėgį ir viršslėgį, temperatūrinius aparatų įtempimus ir t. t. Šie veiksniai lemia potencialų gaisro ir sprogimo pavojų. Pagaliau, jei temperatūros pokytis yra labai didelis, gali užsidegti ir sprogti visos degiosios medžiagos. Dėl to temperatūros kontrolė yra labai svarbi ne tik garantuojant normalią technologinio proceso eigą, bet ir tiriant potencines avarijos galimybes profilaktiniu aspektu.

Temperatūros kontrolei dažniausiai yra naudojamos dviejų rūšių priemonės. Pirmai rūšiai galime priskirti termoindikatorius. Tai dangos (plėvelės), kuriomis padengiami aparatų ar kitos įrangos paviršiai. Tokia danga, pakitus temperatūrai, tam tikrose jos ribose keičia spalvą ar švytėjimo bei spalvos intensyvumą. Atsižvelgiant į sudėtį ir būvį termoindikatoriai yra skirstomi į grupes:

- termoindikatoriniai dažai, pieštukai, termoindikatorinės juostelės;
- termoindikatoriniai lydalai ir skystieji kristalai;
- liuminoforai, keičiantys švytėjimo intensyvumą.

Termoindikatoriniai dažai sudaryti iš šviesai jautrių cheminių junginių – pigmentų užpildų ir rišamosios sintetinės dervos. Pavyzdžiui, 1a markės termoindikatorinis dažas yra šviesiai rožinės spalvos žemesnėje kaip 45 °C temperatūroje. Ją viršijus, dažo spalva pasidaro šviesiai mėlyna. 230 markės dažas yra žalios spalvos iki 400 °C temperatūros. Ją viršijus, dažas pasidaro baltos spalvos. Termoindikatoriniai pieštukai yra sudaryti iš vašků ir šviesai jautrių cheminių junginių gerai homogenizuoto sukietėjusio mišinio. Pavyzdžiui, toks 110 markės pieštukas, viršijus 130 °C temperatūrą, geltoną spalvą keičia į oranžinę, o 250 markės pieštukas, viršijus 250 °C temperatūrą, žalią spalvą keičia į šviesiai rudą.

Analogiškai, viršijant ribinę temperatūrą, pakinta lydalų ar skystųjų kristalų spalva, o liuminoforai paprastai pradeda intensyviai švytėti.

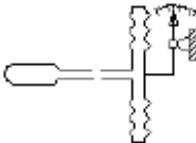
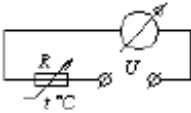
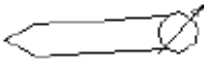
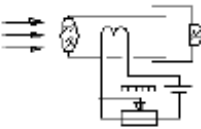
Pirmos rūšies temperatūros kontrolės priemonės yra akivaizdžiai informatyvios. Jos labiau tinka temperatūros laukams įvertinti priešgaisrinės profilaktikos požiūriu, tiriant technologinę įrangą.

Antroji ir pagrindinė rūšis – elektriniai temperatūros matavimo prietaisai (šilumos davikliai). Jų veikimas pagrįstas pašildyto kūno savybe keisti savo tūrį, varžą ar sukurti elektrovaros jėgą, kai yra suvirinti (sulydyti) du skirtingi metalai (termopora) ir kt. Tokie

termometrai plačiai naudojami technologiniuose procesuose, jais matuojama kietųjų kūnų (pavyzdžiui, cilindrų galvučių stūmokliniuose varikliuose), skysčių (pavyzdžiui, alyvos) ir dujų temperatūra. Matuojant variklių mazgų ir išmetamųjų dujų temperatūrą, paklaidos neturi viršyti 0,5–1 %. Matuojant alyvos ir oro temperatūrą pakanka 1–2 % matavimo tikslumo.

Pagal veikimo *principą* termometrai skirstomi į septynias pagrindines grupes, kurios pateiktos 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. Termometrų klasifikavimas

Termometro principas	Veikimo principas	Principinė schema	Matuoja °C
Plėtimosi	Medžiagos santykinio tūrio priklausomybė nuo temperatūros		nuo –70 iki +750
Skysčio dilato- metro	Medžiagos santykinio tūrio priklausomybė nuo temperatūros		nuo –60 iki +900
Bimetalų	Bimetalų plokštelės deformacijos priklausomybė nuo temperatūros		nuo –60 iki +250
Manometro	Slėgio priklausomybė nuo temperatūros		nuo –50 iki +400
Varžos	Jutiklio varžos priklausomybė nuo temperatūros		nuo –270 iki +1000
Termoelektros	Termoelektrovaros jėgos priklausomybė nuo temperatūros		nuo –260 iki +2500
Pirometro	Šiluminio spinduliavimo priklausomybė nuo temperatūros		nuo +600
	Infraraudonųjų spindulių termometrai matuoja tamsaus objekto paviršiaus temperatūrą		nuo –270 iki +1000

Pramonė išleidžia daug įvairių antros rūšies (elektrinių) prietaisų, skirtingų pagal veikimo principą ir darbo temperatūros intervalą.

Dažniausiai šios rūšies temperatūros matuokliai būna sujungti su savirašiais potenciometrais ar automatiniais kompensaciniais tiltais. Tokiais savirašiais prietaisais temperatūra fiksuojama diagramose, o kai naudojami tiltai, sujungti su kaitinimo įranga, galima reguliuoti technologinį šildymo procesą nustatytose ribose. Šiuo atveju temperatūros reguliavimo tikslumas priklauso nuo šildymo įrangos ypatumų, agento masės bei tūrio, taip pat kontrolės ir reguliavimo prietaisų konstrukcijos tikslumo klasės ir kt. Vykdamas technologinės įrangos profilaktinius temperatūrų matavimus, patogiau ir tiksliau naudoti termoporas ir potenciometrus.

Plačiausiai naudojami termometrai su *varžos, termoelektrinių porų, bimetalų juostelių* ir *pirometriniais* temperatūrai jautriais elementais (TE).

Elektriniai varžiniai termometrai dažniausiai naudojami skysčių ir oro temperatūrai matuoti. Šių termometrų veikimo principas pagrįstas laidininkų ir puslaidininkų elektrinės varžos priklausomybe nuo temperatūros. Vielinio TE varžos R priklausomybė nuo temperatūros, kai jos kitimo diapazonas nedidelis, yra tiesinė ir aprašoma lygtimi:

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t), \quad (1)$$

čia: R_0 – varža, kai temperatūra $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; α – temperatūrinis varžos koeficientas; Δt – temperatūros pokytis.

TE *jautris* priklauso nuo pradinės varžos ir temperatūrinio medžiagos varžos koeficiento (TVK). Dažniausiai, kai tenka matuoti nuo -70°C iki $+300^{\circ}\text{C}$ skysčių ir dujų temperatūrą aviaciniuose elektriniuose varžiniuose termometruose, naudojamas nikelio laidas. Jo didelė santykinė varža ($0,12 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$) ir pakankamai didelis TVK ($6,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$). Esminis **nikelio** laido trūkumas – priemaišų įtaka jo TVK. Todėl termoelementui (TE) identifikuoti nuosekliai nikelio vielos rezistoriui R_0 jungiamas rezistorius R_m iš medžiagos, kurios TVK mažas (**manganino** laidas).

Termoelemente, kuriame rezistoriai sujungti nuosekliai, TVK galima nustatyti pagal formulę:

$$\alpha_k = \alpha \frac{R_0}{R_0 + R_m}. \quad (2)$$

Iš formulės (2) matyti, kad $\alpha_k < \alpha$. Keičiant rezistorių R_0 ir R_m santykį, galima pasiekti, kad visų TE α_k būtų vienodas.

Platininis laidas TE naudojamas tada, kai būtini labai stabilūs aviaciniai termometrai. Pastaruoju metu naudojami ir **puslaidininkiniai** TE. Jų priklausomybė nuo t° nustatoma pagal lygtį:

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (3)$$

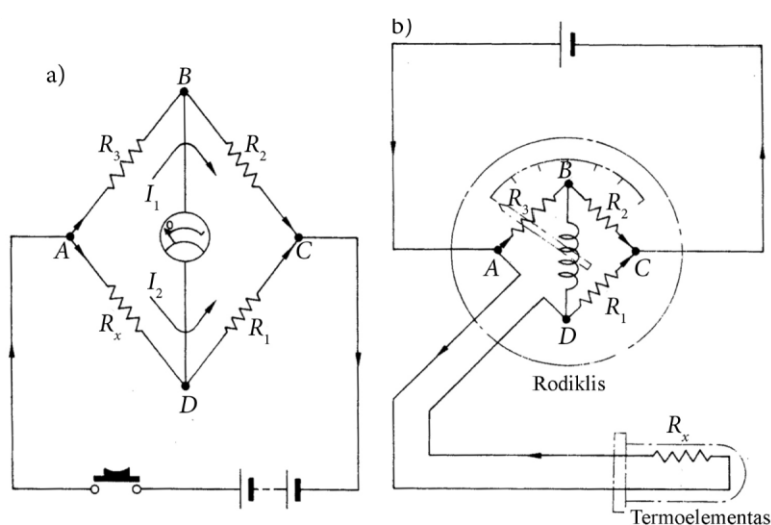
čia: T – absoliučioji termodinaminė temperatūra; A ir B – koeficientai, priklausantys nuo TE medžiagos ir matmenų.

Skysčių ir dujų temperatūrai matuoti naudojami unifikuoti elektriniai varžos termometrai su vieliniais ir puslaidininkiniais TE, **išorinei oro** temperatūrai – su vieliniais TE. Šių tipų termometrų principinės schemos yra praktiškai vienodos.

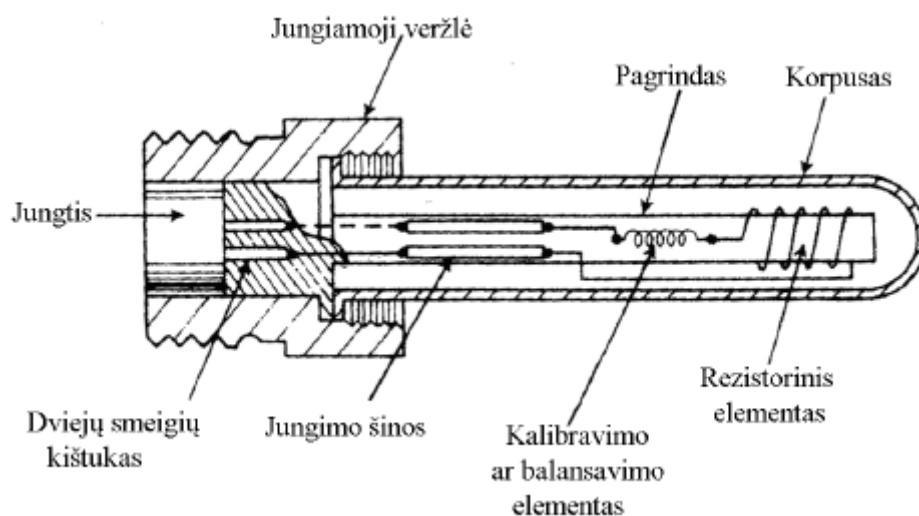
TE varža R_x , kintant temperatūrai t° , matuojama dvigubu pastoviosios srovės tilteliu, kurio elektrinė schema pateikta 1 pav., a, jungiant į tiltelio įstrižainę magnetinį elektrinį santykio matuoklį – logometrą, kuris atlieka temperatūros matavimų rodiklio funkciją, nes tiltelio srovės, tekančios santykio matuoklio ritėmis, priklauso nuo TE temperatūros.

TE, įmontuotas į specialų korpusą, tampa termometro davikliu (TD) (2 pav.). Elektriniai varžos termometrai priklausomai nuo TE tipo matuoja temperatūrą:

- su vieliniu TE diapazone nuo -70°C iki $+150^\circ\text{C}$, kai Δt intervale (nuo -40°C iki $+130^\circ\text{C}$) pagrindinė paklaida neviršija $\pm 3\%$;
- su puslaidininkiniu TE nuo 0°C iki $+120^\circ\text{C}$, kai paklaida normaliomis sąlygomis neviršija $\pm 2^\circ\text{C}$.



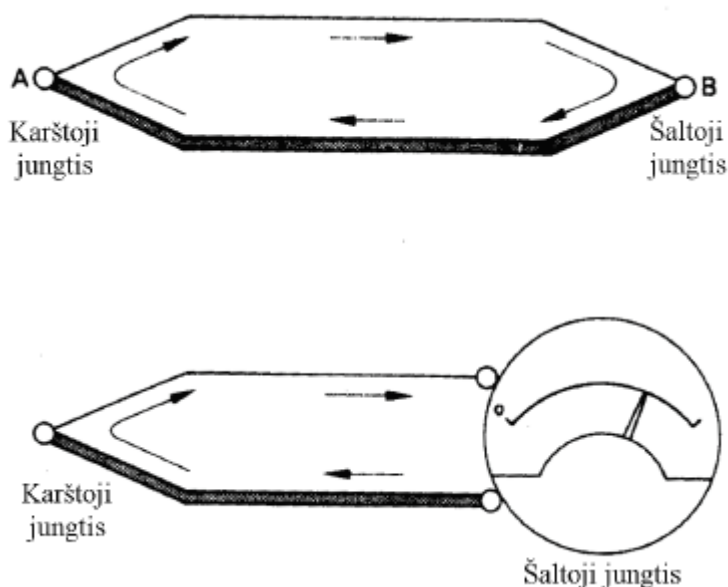
1 pav. Varžo termometro elektrinė schema: a) principinė matavimų schema; b) termometro elektrinė schema



2 pav. Tipinė varžo termometro jutiklio sandara

Termoelektriniai termometrai

Termoelektrinio termometro veikimo *principas* pagrįstas tuo, kad iš skirtingų medžiagų pagamintų dviejų laidininkų, vadinamų termopora, sandūroje, esant temperatūros skirtumui tarp jungimo vietos ir laisvųjų laidininkų galų, atsiranda *terminė* elektrovaros jėga (EVJ) (3 pav.).



3 pav. Termoporos principas

Laidininkų jungtis, besiliečianti su įkaitusiais objektais, vadinama *karštąja* jungtimi, o priešinga – *šaltąja*, arba laisvąja jungtimi. Teigiamuoju (arba pirmuoju) termoporos šaltosios jungties elektrodu laikomas tas, nuo kurio teka terminės EVJ sukurta srovė.

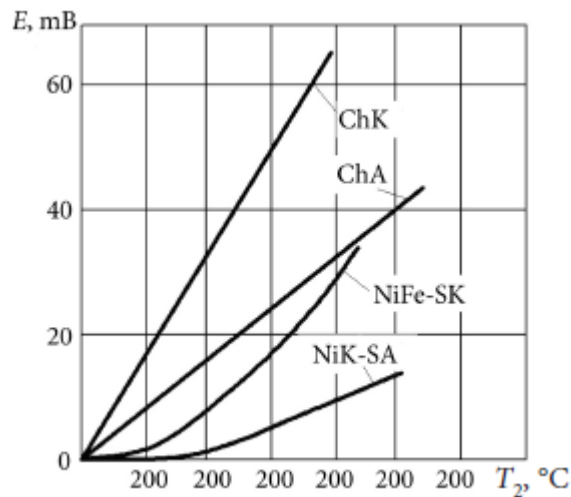
Kitas termoporos šaltosios jungties elektrodas vadinamas neigiamu (arba antruoju). Teoriškai aprašyti termoporoje atsirandančios terminės EVJ priklausomybę nuo jos karštosios ir šaltosios jungčių temperatūros skirtumo sudėtinga, todėl ji nustatoma eksperimentiniu būdu ir pateikiama lentelių arba grafikų pavidalu (4 pav.).

Termoelektriniai termometrai sudaromi iš vieno ar daugiau TE ir temperatūros rodiklio (5 pav.).

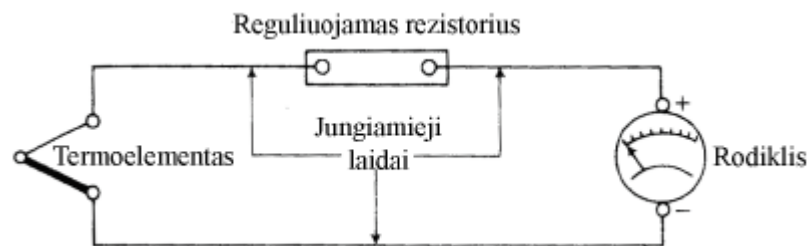
Termometrų paklaidos

Visiems nagrinėtiems termometrams būdinga *metodinė* dinaminė paklaida, pasireiškianti rodmenų vėlavimu. Ši paklaida priklauso nuo termometro laiko pastoviosios, kuriai įtakos turi daugelis veiksnių. Laiko pastoviai sumažinti skysčių ir dujų termometrų keitikliuose įstatomos bronzinės pasidabruotos plokštelės, kietųjų kūnų termoelektriniuose termometruose (pirmoji grupė) termopora tvirtinama prie varinio žiedo, o išmetamųjų dujų srauto termometruose (trečioji grupė) mažinamas srauto stabdymo kamerų tūris. Nepaisant to, TE laiko pastovioji lieka gana didelė: svyruoja nuo 2 iki 3 sekundžių.

Elektrinių varžinių termometrų rodmenų papildoma metodinė paklaida atsiranda todėl, kad TE papildomai šyla nuo srovės, pratekančios pro jį matuojant. Paklaidos kitimui įtakos turi ir maitinimo įtampos nepastovumas.



4 pav. Termoporų terminės EVJ priklausomybė nuo karštosios jungties temperatūros: ChK – chromelis-kopelis; ChA – chromelis-aliumelis; NiFe-SK – nikelis, geležis-specialusis kopelis; NiK-SA – nikelis, kobaltas-specialusis aliumelis



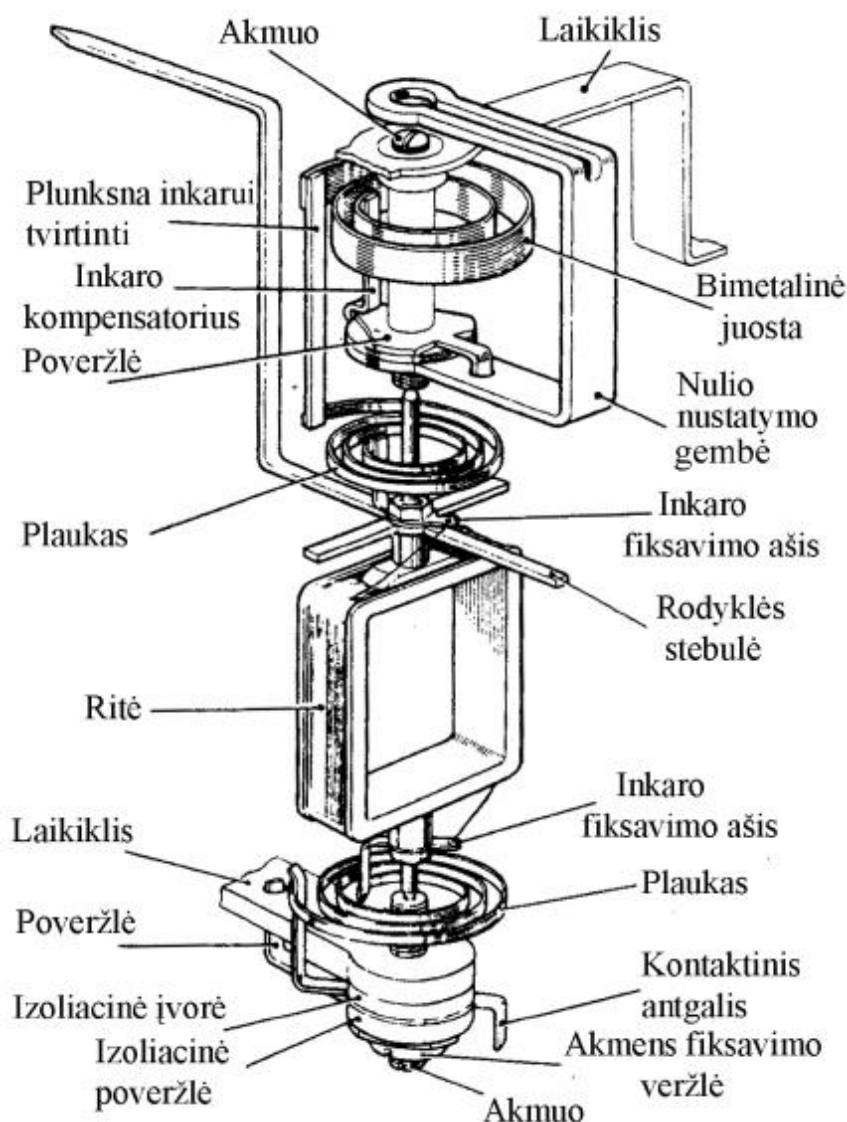
5 pav. Termoelektrinio termometro principinė schema

Termoelektrinių termometrų papildoma metodinė paklaida atsiranda dėl *šaltosios jungties temperatūros kitimo*, parazitinės terminės EVJ atsiradimo ten, kur sujungiami laidai iš skirtingų medžiagų, o išmetamųjų dujų termometruose – ir dėl neviseiško dujų srauto sustabdymo. Termoporų šaltosios jungties temperatūrų pokyčių įtakai sumažinti naudojami **bimetaliniai** temperatūros paklaidų korektoriai. Deformuodamiesi jie įtempia ir atleidžia milivoltmetro atotampos spyruokles (6 pav.). Be to, išmetamųjų dujų termometruose paklaidai sumažinti naudojamos termoporos su gradavimo elektrodais NiK-SA ir NiFe-SK, generuojančios parazitines termines EVJ tik tada, kai $t^\circ > (100-300)^\circ\text{C}$ (labai viršija šaltosios jungties temperatūrą), arba statomi **specialūs termokompensatoriai**.

Parazitinėms terminėms EVJ eliminuoti TE tarpusavyje ir su rodikliais sujungiami specialiais laidais. Šie laidai gali būti pagaminti iš tų pačių medžiagų kaip ir elektrodai arba iš tokių medžiagų, kurių terminės EVJ reikšmės jungčių su elektrodų medžiaga vietose yra nykstamai mažos arba baigtinės, bet priešingo ženklo.

Elektriniuose varžiniuose ir termoelektriniuose termometruose vadinamųjų **prietaiso** paklaidų atsiranda dėl matavimo mechanizmų rėmelių varžų pokyčių, kintant temperatūrai. Šioms paklaidoms sumažinti termometrų schemose naudojami atitinkami koreguojantys termorezistoriai. Be to, termometrų **rodmenų paklaidų** atsiranda dėl laidų, jungiančių TE su matavimo schema, varžos pakitimų. Šioms paklaidoms sumažinti varžiniuose termometruose ir

termoelektrinių termometrų šaltosios termoporos jungties temperatūros kompensavimo schemose elementai jungiami pagal trijų laidų schemą. Tada dviejų laidų, jungiančių termistorių su tiltelio schema, varžos jungiamos į du gretimus tiltelio pečius, todėl varžų pokyčiai termometro rodmenims iš esmės neturi įtakos. Termoelektrinių pirmosios ir antrosios grupių termometrų ši paklaida nekompensuojama. Siekiant ją sumažinti reikia sekti, kad išorinės grandinės varža atitiktų rodiklio varžą, kuri nurodoma ant prietaisų ciferblato.



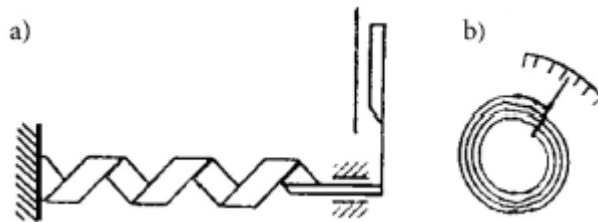
6 pav. Šaltosios jungties temperatūros pokyčių bimetalinis

Termometrų, kuriuose taikomas kompensacinis terminės EVJ matavimo būdas (6 pav.), jungiamųjų laidų varžos iš esmės neturi įtakos matavimų rezultatams. Tačiau reikia sekti, kad tokiuose termometruose nebūtų pažeistas laidų ekranavimas nuo išorinių elektromagnetinių laukų.

Bimetaliniai termometrai

Bimetalinių termometrų veikimo principas pagrįstas tuo, kad taikomas dviejų skirtingų medžiagų tiesinio šiluminio plėtimosi koeficiento skirtumas. Bimetalinio termometro temperatūrai jautrūs

elementai gaminami iš plieno ($\alpha_1 = 19 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) ir invaro ($\alpha_2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) bimetalinių plokštelių, susuktų sraigto (a) arba spiralės (b) pavidalu (7 pav.).



7 pav. Bimetalinių termometrų jautrieji elementai:
a) apvijų plokštelė; b) spiralė

Vienas plokštelės galas tvirtinamas prie prietaiso korpuso, o kitas – judantis, sujungiamas su rodmenų atskaitos įrenginio rodykle arba posūkio keitikliu į elektrinį signalą. Temperatūrai kintant, plokštelės posūkio kampas kiti atitinkamai pagal matuojamą temperatūrą.

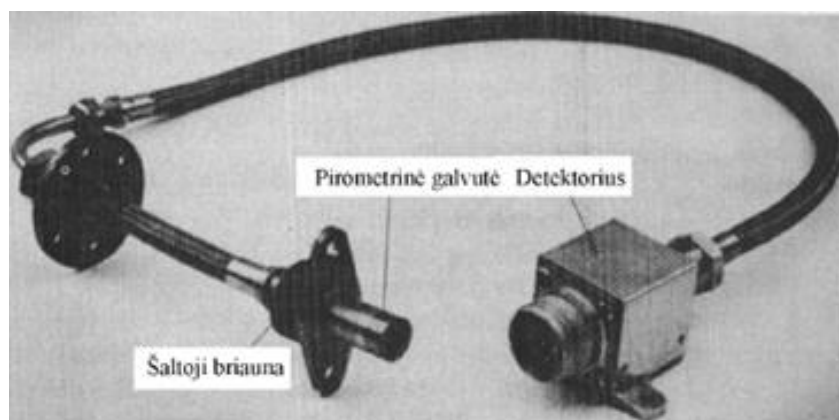
Bimetaliniai termometrai aviacijoje naudojami oro temperatūrai matuoti įgulos kabinoje, išorinio oro temperatūrai matuoti už sraigtasparnių borto arba atlieka daviklių funkcijas temperatūros reguliavimo sistemose. Bimetaliniais termometrais matuojamos temperatūros svyruoja nuo -60°C iki $+70^\circ\text{C}$. Prietaisų temperatūrų skalės sugraduotos kas 10°C , padalos vertė 2°C .

Bimetalinių termometrų paklaidos – $\pm(1-3)^\circ\text{C}$. Šių termometrų privalumas – konstrukcijos paprastumas ir patikimumas, trūkumas – didelis inertiškumas (iki 6 min.).

Pirometrinės temperatūros matavimo sistemos

Kaip žinoma, įkaitę kūnai skleidžia infraraudonojo diapazono elektromagnetines bangas, kurių intensyvumas proporcingas kūno temperatūrai. Taigi, registruojant šio spinduliavimo intensyvumą, galima nustatyti kūnų temperatūrą. Toks temperatūros matavimo principas nereikalauja būtino mechaninio kontakto su objektu, kurio temperatūra yra matuojama.

Veikiančios pagal tokį principą temperatūros matavimo priemonės vadinamos spindulinės pirometrijos sistemomis. Į tokių sistemų sudėtį įeina kūno skleidžiamo spinduliavimo ėmiklis, jungiamasis optinis kabelis ir spinduliavimo intensyvumo detektorius. Detektoriaus išėjime gaunama elektrinė įtampa, proporcinga matuojamai temperatūrai, gali būti stiprinama ir matuojama milivoltmetru 8 pav.



8 pav. Pirometras

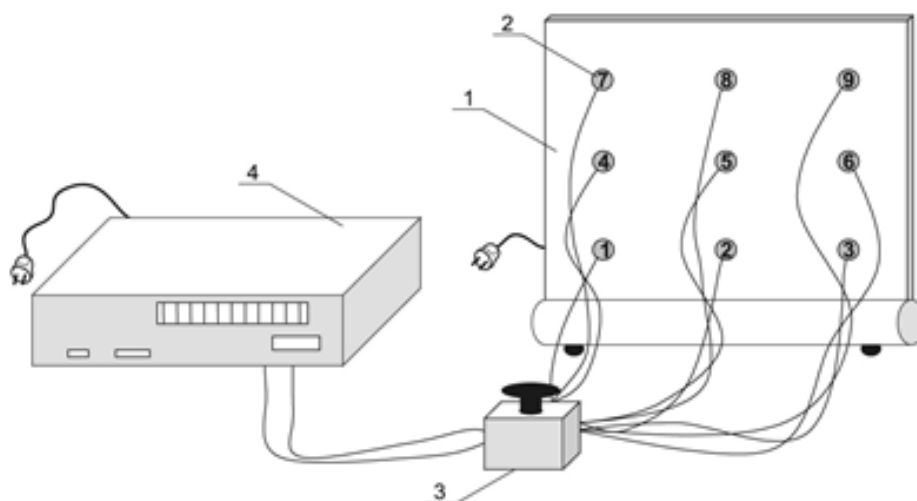
Naudojami prietaisai ir darbo principai

Bandymams atlikti naudojama įranga, kurios principinė schema parodyta 9 paveiksle. Ji susideda iš reguliuojamo šildymo elemento (1), kurio įvairiose paviršiaus vietose yra pritvirtintos šiluminės varžos (2), sujungtos su perjungikliu (3), o šis – su skaitmeniniu varžų matuokliu (4).

Bandymo esmė yra įvertinti temperatūros pasiskirstymą šildymo elemento paviršiuje ir jos kitimą atsižvelgiant į šildymo laiką.

Temperatūra nustatoma atskiruose šildymo elemento paviršiaus taškuose, suskirstytuose į tris grupes. Pirmajai grupei priskiriami taškai 1, 2, 3. Antrajai – 4, 5, 6. Trečiajai – 7, 8, 9. Kokios grupės taškuose įvertinti temperatūrą, nurodo dėstytojas.

Prieš pradėdant eksperimentą išmatuojama termorezistorių varža kambario temperatūroje. Įjungus šildymo elementą, 1 lentelėje nurodytu laiku matuojamas termorezistorių varžos kitimas. Matavimus atlikti kiek galima per trumpiausią laiką. Pasinaudojant kalibracinėmis kreivėmis (4, 5 ir 6 priedai), varžų vertės perskaičiuojamos į temperatūrų reikšmes. Eksperimento duomenys surašomi į 5.2 lentelę.



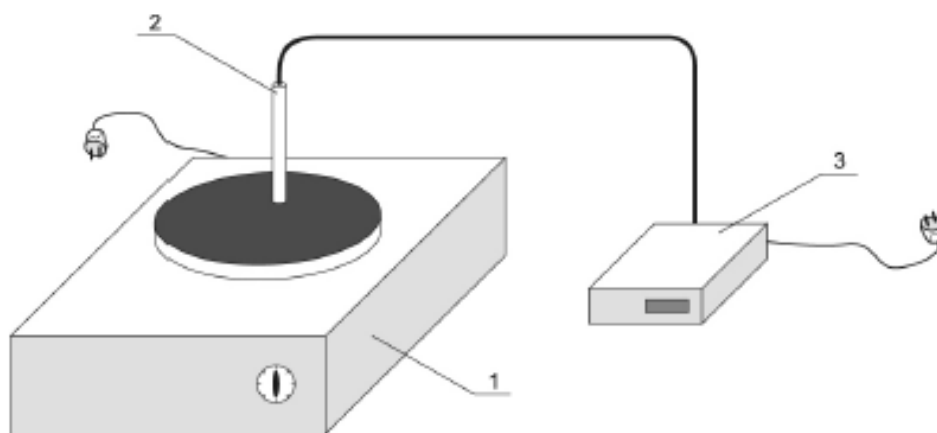
9 pav. Bandymams atlikti naudojama įranga: 1 – šildymo elementas; 2 – termorezistoriai; 3 – perjungiklis; 4 – varžomatis

Termoindikatorinių pieštukų (dažų), juostelės ar bekontakčio termometro temperatūrinio poveikio efektyvumui įvertinti naudojame įrangą, kurios principinė schema parodyta 10 paveiksle. Ji susideda iš elektros plytelės (1), termoelektrinio keitiklio (2) ir elektroninio termometro (3).

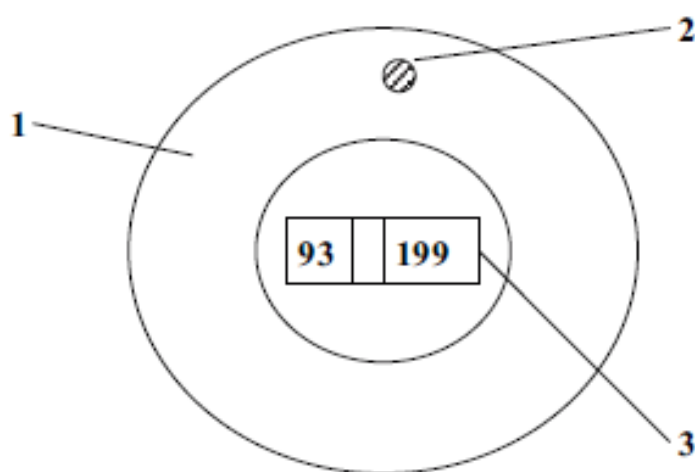
Bandymų esmė yra tokia. Termoindikatoriniu pieštuku (dažais) lokaliai užtepame plėvelę ant plėvelės. Įjungiamo elektroninį termometrą (3) ir leidžiame jam išilti. Paskui įjungiamo elektros plytelę (1). Vykstant bandymams stebime, kokios temperatūrai esant pakis plėvelės spalva. Sulyginame faktinę ir nurodytą termoindikatoriaus pase (etiketėje) spalvos pokyčio temperatūras.

Termoindikatorinių juostelių temperatūrinio poveikio efektyvumui įvertinti naudojame tą pačią įrangą, kurios principinė schema parodyta 10 paveiksle. Bandymų esmė yra tokia. Termoindikatorių (mėlynos spalvos juostelė su sidabrinės spalvos kvadratėliu juostelės

viduryje) atskirti nuo pagrindo (baltos spalvos juostelė) ir užklijuoti elektros plytelės paviršiaus centre, kaip parodyta 11 paveiksle.



10 pav. Bandymams atlikti naudojama įranga: 1 – šildymo elementas; 2 – termorezistoriai; 3 – perjungiklis; 4 – varžomatis

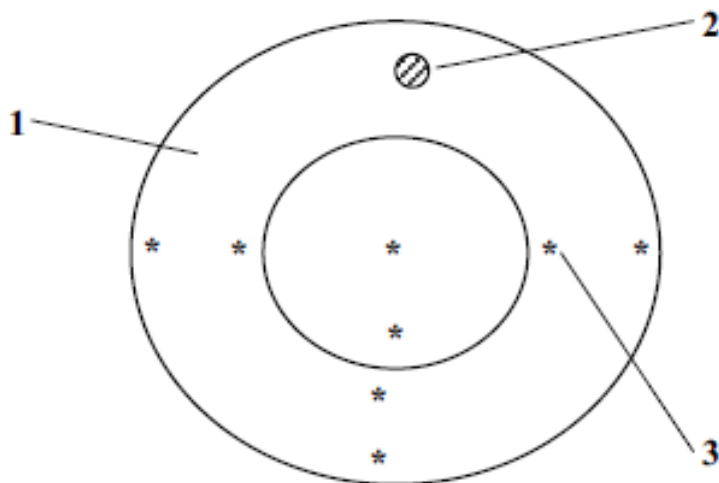


11 pav. Termosensybišios juostelės padėtis elektros plytelės paviršiuje:
1 – elektros plytelės paviršius; 2 – termoelektrinis keitiklis; 3 – termosensybišioji juostelė

Skaičiai termosensybišios juostelės mėlyname fone rodo termosensybišios juostelės normatyvines spalvos pokyčio temperatūras. Mažesnis skaičius – temperatūrą Celsijaus skalėje, didesnis – Farenheito skalėje. Kada kaitinamas paviršius pasiekia šias arba joms artimas temperatūras, termosensybišios juostelės sidabrinės spalvos kvadrato spalva pereina į juodą.

Bekontakčio termometro IR-8839 temperatūrinio poveikio efektyvumui įvertinti naudojame tą pačią įrangą, kurios principinė schema parodyta 10 paveiksle. Bandymų esmė yra tokia. Susipažinti su bekontakčio termometro IR-8839 konstrukcija, techninėmis charakteristikomis,

temperatūros matavimo eiga (žr. termometro naudojimosi instrukciją 7 priede). Išmatuoti temperatūrą skirtingose elektros plytelės paviršiaus vietose, kaip parodyta 12 paveiksle. Matuojant temperatūras, bekontaktį termometrą laikyti 10–15 cm atstumu nuo elektros plytelės paviršiaus. Fiksuoti temperatūros vertes vadovaujantis termometro naudojimosi instrukcija.



12 pav. Elektros plytelės paviršiaus temperatūros matavimas bekontaktiu termometru IR-8839: 1 – elektros plytelės paviršius; 2 – termoelektrinis keitiklis; 3 – matavimo vieta

Užduotys

1. Pagilinti teorines žinias.
2. Išmatuoti šildomojo elemento paviršiaus temperatūrą atskiruose taškuose. Naudojant termointikatorius, nustatyti jų veikimo paklaidą faktinės temperatūros atžvilgiu.
3. Išmatuoti šildomojo elemento paviršiaus temperatūrą atskiruose taškuose. Naudojant bekontaktį termometrą, nustatyti jo matavimo paklaidą faktinės temperatūros atžvilgiu.
4. Padaryti išvadas iš gautų darbo rezultatų.

Darbo atlikimo tvarka

1. Susipažinti su įranga, darbo ir gaisrinės saugos reikalavimais.
2. Įjungti varžomatį 4 (9 pav.) bei elektroninį termometrą 3 (10 pav.) ir leisti jiems įšilti. Gauti iš darbo vadovo konkrečią užduotį bei termointikatorinį pieštuką (dažus) arba termointikatorinę juostelę ir bekontaktį termometrą.
3. Nustatyti paeiliui, naudojantis perjungikliu 3 (9 pav.), pradinius termorezistorių 2 (9 pav.) bei termodaviklio 2 (10 pav.) rodmenis ir juos fiksuoti žurnale.
4. Ant elektros plytelės 1 (10 pav.) dėstytojo nurodytoje vietoje uždažyti termointikatoriniu pieštuku (dažais) ar priklijuoti ant elektros plytelės termointikatorinę juostelę, kaip parodyta 11 paveiksle.
5. Įjungti šildymo elementą 1 (9 pav.) ir elektros plytelę 1 (10 pav.) ir pradėti bandymą.
6. Fiksuoti termorezistorių rodmenis varžomatyje.
7. Naudojantis kalibracinėmis kreivėmis (žr. **4, 5 ir 6 priedus**), paversti termorezistorių rodmenis į temperatūrų vertes.

8. Grafiškai pavaizduoti temperatūros kitimo priklausomybę nuo laiko kiekvienam šildymo elemento paviršiaus taškui $T_{1-9} = f(\tau)$.
9. Elektroniniu termometru 3 (10 pav.) fiksuoti temperatūrą, kai termoindikatorinis dažas ar termoindikatorinė juostelė pakeitė spalvą. Apskaičiuoti dažo (juostelės) normatyvinės temperatūros pokyčio paklaidą (θ) faktinės temperatūros atžvilgiu.
10. Bekontakčiu termometru fiksuoti temperatūrą elektros plytelės paviršiaus taškuose, kaip parodyta 12 paveiksle. Palyginti bekontakčio termometro ir elektroninio termometro rodmenis.
11. Pateikti atliktų darbų išvadas.

Darbo ir gaisrinės saugos reikalavimai

1. Įsitikinti, kad šildomasis elementas yra įžemintas.
2. Norint išvengti galimų nudegimų, negalima liesti įkaitintų paviršių.
3. Ruošiant bekontaktį termometrą matavimams, laikyti jį nukreiptą žemyn.
4. Nenukreipti bekontakčio termometro lazerio spindulio į kolegas ir atspindinčius paviršius.

Kontroliniai klausimai

1. Apibūdinkite temperatūros veiksnio svarbą ir įtaką gaisro ir sprogimo pavojaus aspektu.
2. Kokios priemonės yra naudojamos temperatūros kontrolei? Jų veikimo principai.
3. Koku principu veikia tokios temperatūros kontrolės priemonės?
4. Kokios priemonės naudojamos technologinio proceso temperatūrai reguliuoti?
5. Apibūdinkite laboratorinio darbo esmę.

5 laboratorinio darbo ataskaita

Bendra bandymo trukmė min. _____

Matavimo intervalas min. _____

Kiti užduoties reikalavimai _____

1. Eksperimentinių duomenų grafikas.
2. Eksperimento duomenys apie termoindikatorinio pieštuko (dažo), termoindikatorinės juostelės ar bekontakčio termometro veikimo efektyvumą.

Paklaidą (θ) apskaičiuojame taip:

$$\theta = \frac{100 \cdot (T_n - T_f)}{T_f} \%, \quad (4)$$

čia: T_n – termoindikatoriaus normatyvinė spalvos pokyčio temperatūra $^{\circ}\text{C}$; T_f – faktinė temperatūra pagal elektroninio termometro ar bekontakčio termometro rodmenį $^{\circ}\text{C}$.

5.2 lentelė. Eksperimento duomenys apie šildymo elemento temperatūrinį lauką

Matavimo laikas nuo šildymo elemento įjungimo pradžios min.	Termorezistorių varžų vertės taškuose Ω			Temperatūrų vertės taškuose $^{\circ}\text{C}$		
	1	2	i	1	2	i
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
8						
10						

3. Išvados apie gautus bandymo rezultatus.