

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Romualdas MAČIULAITIS, Donatas LIPINSKAS

Gaisro ir sprogimo pavojus modeliuotuose gamybos procesuose

Laboratorinių darbų metodikos nurodymai

Vilnius „Technika“ 2012

R. Mačiulaitis, D. Lipinskas. Gaisro ir sprogimo pavojus modeliuotuose gamybos procesuose: laboratorinių darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika, 2012. 116 p. [4,92 aut. l. 2012 03 01]

Laboratorinių darbų tikslas – padėti studentams pagilinti teorines žinias, suteikti praktinių įgūdžių, vykdant eksperimentus. Knyga siekiama akivaizdžiai perteikti teorinių dėsningumų žinias, akcentuoti praktinio jų panaudojimo svarbą jauniems specialistams savo kasdieniniame darbe.

Šis mokomasis leidinys skirtas pirmosios pakopos studijų studentams, studijuojantiems pagal programą *gaisrinė sauga*.

Leidinį rekomendavo VGTU Statybos fakulteto studijų komitetas

Recenzavo: Arvydas Viršulis, Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie VRM Gaisrinių tyrimų centro viršininkas, doc. dr. Kęstutis Lukošius, UAB „Poliprojektas“

VGTU leidyklos TECHNIKA 1265-S
mokomosios metodinės literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

Redagavo *Dalia Markevičiutė*
Maketavo *Natalija Rodionova*

eISBN 978-609-457-098-8
doi:10.3846/1265-S

© Romualdas Mačiulaitis, 2012
© Donatas Lipinskas, 2012
© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

TURINYS

ĮVADAS	5
LABORATORINIAI DARBAI	6
1. Lengvai užsiliepsnojančių ir degių skysčių avarinio išsiliejimo pavojus esant gaisrui	6
2. Sprogių zonų nejudančiame ore susidarymo įvertinimas, garuojant lengvai užsiliepsnojančioms skysčiams	15
3. Padidėjusio slėgio, šildant skystį aparate, įtaka gaisro pavojui	24
4. Nepavojingų gaisrui technologinių plovimo priemonių naudojimas technologiniams aparatams ir detalėms valyti	32
5. Technologinių procesų temperatūros kontrolė matavimo prietaisais ir termoidikatoriais	48
6. Aparatų apsauga membranomis nuo suardymo įvykus sprogimui.	66
7. Technologinės įrangos paruošimo remontiniams ugnies darbams procesų priešgaisrinės saugos užtikrinimas.	88
PRIEDAI.	97
1. Lengvai užsiliepsnojančių skysčių gaisrinio pavojingumo rodikliai.	97
2. Svarstyklių naudojimosi instrukcija.	99
3. Elektrovaros jėgos j (milivoltais) perskaičiavimas į temperatūrą (°C)	100
4. Termorezistorių, pritvirtintų šildymo elemento paviršiaus taškuose 1, 2, 3, varžos priklausomybė nuo temperatūros	101
5. Termorezistorių, pritvirtintų šildymo elemento paviršiaus taškuose 4, 5, 6, varžos priklausomybė nuo temperatūros	102

6. Termorezistorių, pritvirtintų šildymo elemento paviršiaus taškuose 7, 8, 9, varžos priklausomybė nuo temperatūros	103
7. Bekontakčio termometro ir-8839 naudojimosi instrukcija	104
8. Gaisrinio pavojingumo rodikliai tipiniuose dujų ir oro mišiniuose.	109
9. Pažeidimai kilus sprogimui.	113
LITERATŪRA.	115

IVADAS

Įvairių gamybos sričių technologinėje įrangoje kaip žaliavos, gamybos atliekos ir gatava produkcija susidaro dujinės, skystos ir kietos degiosios ar net sprogiosios medžiagos. Todėl visada, netgi tais atvejais, kai gamyboje naudojamos pažangiausios ir naujausios technologijos, yra realus pavojus kilti gaisrui arba įvykti sprogimui. Ir niekas negali garantuoti, kad neįvyks avarija ir nekils gaisras ar nesusprogs dujų, garų ar dulkių ir oro mišinys, paveiktas uždegimo šaltinio. Todėl gaisrinės saugos specialistai turi modeliuotomis gamybos sąlygomis išnagrinėti pagrindinius dėsningumus, lemiančius technologinių procesų ir aparatų pavojingumą avarių, gaisrų ir sprogimų aspektu.

Šiame leidinyje pateikti septyni reikalingiausi laboratoriniai darbai. Mokant gaisrinės saugos specialistus laboratoriniai darbai yra vieni vertingiausių mokymo elementų. Kiekvieno laboratorinio darbo aprašymas turi vienodą struktūrą. Pradžioje pateikiamas darbo tikslas ir teorinis tiriamo modeliuoto technologinio proceso arba reiškinio (avarija, sprogimas) aprašymas. Toliau pateikiamos darbo užduotys ir darbo eigos aprašymas. Pateikiama laboratorinio darbo rezultatų fiksavimo forma. Pabaigoje yra reikalavimai ir informacija ataskaitai apie atliktą laboratorinį darbą rengti. Pažymėtina, kad visų darbų ataskaitose būtina parengti savarankiškas išvadas apie gautus eksperimento rezultatus. Reikiama papildoma informacija pateikta devyniuose prieduose.

LABORATORINIAI DARBAI

1. Lengvai užsiliepsnojančių ir degiųjų skysčių avarinio išsiliejimo pavojus esant gaisrui

Darbo tikslas

1. Pagilinti teorines žinias.
2. Įsisavinti rodiklių, charakterizuojančių degiųjų skysčių sklidimą ant įvairių paviršių, nustatymo metodiką.

Teorinė dalis

Gamyboje labai plačiai naudojami degieji skysčiai, kurie yra ypač pavojingi gaisro atveju. Tai įvairūs organiniai tirpikliai, alkoholiai, eteriai, esteriai, benzinas, žibalas, dyzelinis kuras, pagaliau pati nafta.

Degieji skysčiai, atsižvelgiant į jų pliūpsnio temperatūrą, sąlygiškai skirstomi į lengvai užsiliepsnojančius skysčius (LUS), kai temperatūra ne didesnė kaip 61 °C (uždengtame tiglyje) ar 66 °C (atvirame tiglyje), ir į degiuosius skysčius (DS), kai ta temperatūra yra didesnė.

Gaisro ar sprogimo pavojus atsiranda įvykus avarijoms, kai iš aparatų, vamzdinių, rezervuarų ir t. t. išsilieja LUS ar DS. Tada jie pasklinda ant įvairių paviršių patalpose ir lauke. Susidaro dideli skysčių garavimo paviršiai. Avarinis išsiliejimas ir tokių skysčių pasklidimas yra gana sudėtingas procesas, nes nulemtas ne tik pačių LUS ir DS savybių, bet ir daugelio kitų aplinkybių ir rodiklių. Teoriniu požiūriu svarbiausia skysčio (sklidimo atveju) savybė yra tarpfazinis paviršiaus įtempimas.

Paviršiaus įtempimą (σ) galime apibūdinti kaip paviršiaus energijos intensyvumo veiksnį, charakterizuojantį tarpfazinį, nekompensuotą tarp-molekulinių jėgų lauką. Termodinamiškai paviršiaus įtempimas yra dalinė bet kurio termodinaminio potencialo išvestinė (∂) tarpfazinio paviršiaus plotui (S), esant kitiems (temperatūros T , slėgio p) pastoviems rodikliams. Paprasčiausiai šį dydį galima išreikšti per Gibso energiją (ξ) taip:

$$\sigma = \left(\frac{\partial \xi}{\partial S} \right)_{T, P}. \quad (1)$$

Tiksliausiai pagal fizikinę prasmę paviršiaus įtempimą galima apibūdinti kaip medžiagos paviršiaus ploto vieneto susidarymo darbą. *SI* sistemoje paviršiaus įtempimas išreiškiamas J/m^2 ar N/m .

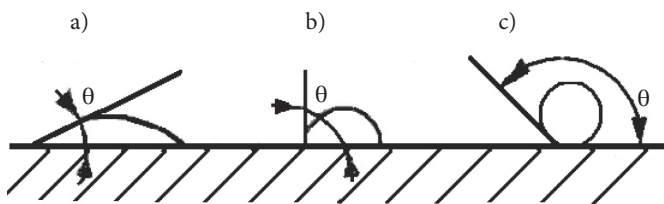
Skysčių paviršiaus įtempimą oro fazės atžvilgiu galima pakankamai tiksliai nustatyti eksperimentu. Tačiau kietųjų medžiagų paviršiaus įtempimą oro fazės atžvilgiu tiksliai nustatyti sunku. Taip pat ir teoriškai tiksliai apskaičiuoti. Žinoma, kad skysčių paviršiaus įtempimas oro fazės atžvilgiu yra mažesnis nei kietųjų medžiagų. Kietųjų medžiagų atveju jis yra didesnis tokioms medžiagoms, kurios sunkiau lydosi.

Skysčio sąveiką su kietojo kūno ar skysčio paviršiumi galima apibūdinti ir daugeliu kitų rodiklių, kurie lemia pačio jų kontaktavimo proceso ypatumus. Tai energetiniai absorbcijos rodikliai, kokybinės kohezijos ir adhezijos charakteristikos, drėkinimo šiluma, drėkinimo kampas. Pagal tokius rodiklius galima detaliau paaiškinti skysčių sklidimo kitais paviršiais mechanizmo ypatumus.

Drėkinimo kampas (θ) – vienas akivaizdžiausių minėtų rodiklių (1 pav.). Pusiausvyros sąlygomis pagal Jango dėsnį skysčio lašu drėkinamos kietosios medžiagos kampą galima per tarpfazinius medžiagų kontakto paviršiaus įtempimus (σ) išreikšti taip:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{S,V} - \sigma_{L,S}}{\sigma_{L,V}}, \quad (2)$$

čia indeksai nurodo fazes: S – kietasis kūnas; V – dujos (oras); L – skystis.



1 pav. Kieto paviršiaus, drėkinamo skysčiu, įvairūs atvejai:
 $\theta < 90^\circ$; b) $\theta = 90^\circ$; c) $\theta > 90^\circ$

Žinoma, kad įvairūs skysčiai nevienodai drėkina tokios pat medžiagos paviršių. Sutarta, kai pusiausvyrinis drėkinimo kampas yra ne didesnis kaip 90° , drėkinamą paviršių vadinti oleofobiniu (hidrofiliniu). O kai toks kampas didesnis kaip 90° arba lygus 90° , paviršių vadinti oleofiliniu (hidrofobiniu). Nustatyta, kad drėkinimo kampas priklauso nuo skysčio prigimties, kuri lemia jo paviršiaus įtempimo vertę oro atžvilgiu. Pavyzdžiui, nepoliarinių organinių tirpiklių paviršiaus įtempimas yra gerokai mažesnis nei vandens (poliarinis skystis). Todėl dauguma atvejų jie gerai drėkina kietus paviršius. Tačiau vandens paviršiaus įtempimą galima sumažinti, ištirpinant jame labai mažus paviršiaus aktyvių medžiagų (*PAM*) kiekius. Pusiausvyrinis drėkinimo kampas taip pat priklauso nuo kietojo kūno paviršiaus šiurkštumo laipsnio, užterštumo ir kitų veiksnių.

Kinetiniu aspektu drėkinimo kampas nėra vienareikšmis pastovus dydis. Nustatyta, kad skysčio lašo nutekėjimo kampas yra didesnis negu to lašo atitekėjimo lašas. Bendruoju atveju, kai skysčio lašas sklinda kitu paviršiumi ($\theta \leq 0$), turi būti patenkinta sąlyga, kad skysčio adhezijos darbas (W_a) viršytų jo kohezijos darbą (W_k). Tada pagal Harkinsą skysčio sklidimo koeficientą (f) galima apibūdinti taip:

$$f = W_a - W_k. \quad (3)$$

Dažnai žemoje temperatūroje adhezijos darbas yra mažesnis už kohezijos. Todėl, pavyzdžiui, esant žemai temperatūrai, skystis gali kietosios medžiagos nedrėkinti ir ja nesklisti. O temperatūrai padidėjus, kai bus patenkinta sąlyga $W_a > W_k$, dydžio f reikšmės taps teigiamos. Tada skystis pradės drėkinti ir sklisti kietu paviršiumi.

Nustatyta, kad skysčio sklidimo kietųjų kūnų ir skysčių paviršiais mechanizmai skiriasi. Kietojo kūno paviršiaus atveju skysčio sklidimas yra nulemtas, be jo paviršiaus įtempimo, dar ir difuzijos, kapiliarumo reiškinių, skysčio lakumo ir kt. Kai skystis sklinda kito skysčio, nesimaišančio su pirmuoju, paviršiumi, mechanizmo kinetika yra sudėtingesnė. Pradžioje, jeigu yra patenkinama anksčiau nurodyta sąlyga, dėl molekulinio kinetinio drėkinančio skysčio molekulių judėjimo skystis pasklinda paviršiumi, sudarydamas monomolekulinį sluoksnį. Tačiau vėliau dėl abiejų skysčių tarpusavio prisisotinimo pakinta W_a ir W_k , sudarančių kontaktinį sluoksnį, dydžiai. Ir tada viršutinis skystis paprastai susitraukia ir sudaro lęšius. Pavyzdžiui, tai yra būdinga naftai, dyzeliniam kurui ir kt. išsiliejus į vandenį.

Žymiai sudėtingiau įvertinti skysčių sklidimą jų avarinio išsiliejimo atveju įvairiomis realiomis sąlygomis, kai procesą pradeda veikti ir kiti veiksniai (išsiliejimo greitis, paviršių reljefas ir t. t.). Todėl praktiškai, skirstant gamybas ir patalpas į kategorijas pagal pavojų gaisrui, orientuojamasi į apytikslius eksperimentinius duomenis.

Sutarta, kad 1 litras mišinių ar tirpalų (iki 30 % koncentracijos) pasklinda maždaug ant 0,5 m² grindų, o tirpiklių ant 1 m² grindų. Tačiau mokslinėse publikacijose yra tikslesnių duomenų apie skysčių sklidimą ant kietų paviršių priklausomai nuo įvairių veiksnių. Pavyzdžiui, vieną kartą išsiliejus nedideliame įvairaus klampumo (ν) naftos perdirbimo produktų (tepalai, dyzelinis kuras, benzinas) kiekiui (V), galima, žinant sklidimo laiką (τ), prognozuoti pasklidimo spindulį (r) pagal formulę:

$$r = 3,018 \cdot V^{0,4} \cdot \tau^{0,115} \cdot \nu^{-0,116}. \quad (4)$$

Nenutrūkstamo skysčio tekėjimo atveju, jei žinomas jo debitas (Q), pasklidimo spindulį galima prognozuoti pagal formulę:

$$r = 2,385 \cdot Q^{0,333} \cdot \tau^{0,519} \cdot \nu^{-0,155}. \quad (5)$$

Anksčiau minėta, kad skysčių sklidimą lemia ir kietojo kūno paviršiaus savybės. Sutarta, kad stiklo paviršius yra idealus ir sąlygiškai standartinis. Jo paviršiaus drėkinimo koeficientas (K_p^*) prilyginamas vienetui. Tada

palyginant yra nustatomos ir kitų medžiagų K_p vertės. Pavyzdžiui, yra žinoma, kad grunto $K_p = 0,9$, gelžbetonio ir asfalto $K_p = 1,1$, o betono su marmuro trupinių užpildu $K_p = 0,5$. Tada didžiausią skysčių pasklidimo paviršių (S) galima apskaičiuoti taip:

$$S = V \cdot \operatorname{ctg} \theta \sqrt{\frac{\rho \cdot g}{\sigma}} \cdot K_p, \quad (6)$$

čia θ – drėkinimo kampas, ρ – skysčio tankis; g – laisvo kūno kritimo pagreitis; σ – skysčio paviršiaus įtempimas; V – išsiliejusio skysčio tūris; K_p – palyginimo koeficientas.

Apytiksliam pasklidusio skysčio paviršiaus plotui (S) nustatyti naudojama tokia lygtis:

$$S = kV, \quad (7)$$

čia: k – proporcingumo koeficientas, V – skysčio tūris.

Proporcingumo koeficientas k , sąlygiškai pavadintas skysčio sklidimo koeficientu, yra matuojamas m^2/m^3 ar m^{-1} . Jis charakterizuoja tą paviršiaus plotą, kuriame pasklinda žinomo skysčio tūrio vienetas.

Eksperimentu nustatius proporcingumo koeficientą, naudojant tą patį skystį, stiklui (k_o) ir kitai kietajai medžiagai (k) galima apskaičiuoti palyginamąjį koeficientą (K_p):

$$K_p = k / k_o. \quad (8)$$

Išsiliejusio ir pasklidusio skysčio sklidimo storį (δ) galima apskaičiuoti taip:

$$\delta = 1 / k. \quad (9)$$

Jeigu žinomas skysčio sklidimo ant stiklo koeficientas (k_o), palyginamasis koeficientas (K_p) ir išsiliejusio skysčio tūris (V), tai pasklidusio skysčio paviršiaus plotą galima apskaičiuoti taip:

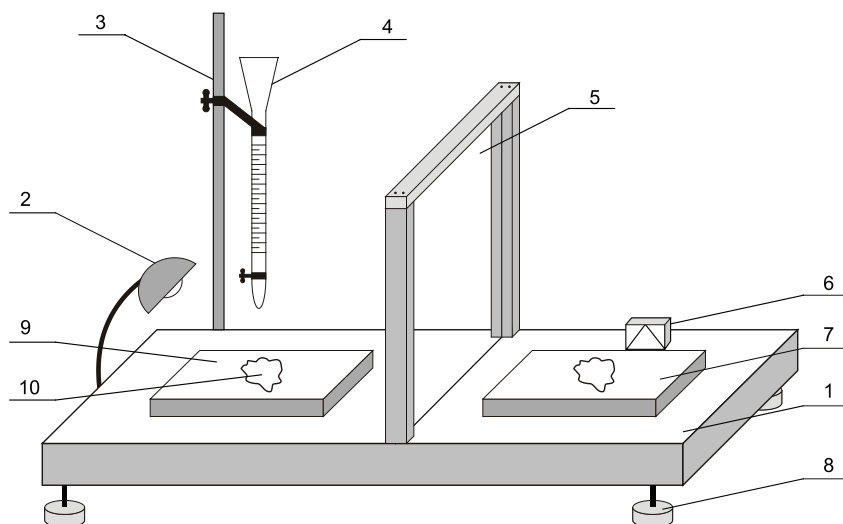
$$S = K_p k_o V. \quad (10)$$

Išsiliejusio skysčio ant kietosios medžiagos sąlyginį paviršių galima išreikšti ir per apskritimo ekvivalentinį skersmenį (d) pagal formulę:

$$d = \sqrt{\frac{4kV}{\pi}}. \quad (11)$$

Naudojami prietaisai ir darbo principai

Bandymams atlikti naudojamas prietaisas (2 pav.) susideda iš bandymų staliuko (1), kuris yra padalintas vertikaliai įtvirtintu stiklu (5). Vienoje staliuko pusėje pritvirtinta stalinė lempa (2) ir laikiklis (3) su biurete (4). Vienoje staliuko pusėje pritvirtinta stalinė lempa (2) ir laikiklis (3) su biurete (4).



2 pav. Bandymo įranga: 1 – bandymų staliukas; 2 – stiklinė lempa; 3 – laikiklis; 4 – biuretė; 5 – stiklas; 6 – popieriaus (milimetrinio) fiksatoriai; 7 – milimetrinis popierius; 8 – horizontalumo reguliatoriai; 9 – bandomasis paviršius; 10 – pasklidęs skystis

Bandymų esmė yra tokia. Numatytą bandomojo skysčio kiekį išleidžiame iš biuretės ant bandomojo paviršiaus (stiklas, plastikas, medis, keramika ir t. t.), esančio po ja. Nustatome pasklidusio skysčio paviršių. Tuo tikslu kitoje staliuko pusėje fiksuojame milimetrinį popierių ir

pagal skysčio pasklidimo atšvaitą apibrėžiame atšvaito kontūrą, o vėliau apskaičiuojame jo plotą. Plotą galima nustatyti ir naudojant planimetrą arba svorio būdu. Tam, kad skystis sklistų tolygiai, pradžioje nustatome horizontalią stiklo ar kitos medžiagos paviršiaus padėtį. Galime keisti skysčio temperatūrą, jo išlašinimo (išleidimo) aukštį ir kt. rodiklius ir nustatyti tų veiksnių įtaką.

Užduotys

1. Išnagrinėti skysčio pasklidimo ant kietų (skystų) paviršių rodiklius (pagal 7–11 lygtis).
2. Atlikti bandymus su duotu skysčiu ant švaraus stiklo, laipsniškai išleidžiant jo skirtingą kiekį. Grafiškai pavaizduoti bandymų rezultatus ($S = f(V)$). Nustatyti maksimalią k vertę.
3. Atlikti užduotį pagal 2 punktą, vietoje stiklo naudojant bandymui kitą medžiagą.
4. Apskaičiuoti kitus skysčio sklidimo ant įvairių paviršių rodiklius (pagal 7–11 lygtis).

Darbo atlikimo tvarka

1. Susipažinti su laboratorinio darbo įranga, darbo ir gaisrinės saugos reikalavimais.
2. Gauti iš darbo vadovo užduotį, bandomąsias medžiagas ir pasižymėti bandymų žurnale.
3. Švariai nuvalyti (nuplauti) bandomojo stiklo paviršių ir jį išdžiovinti.
4. Horizontaliai sureguliuoti bandymų staliuką.
5. Supilti bandomąjį skystį į biuretę, o po ja padėti stiklą.
6. Išleisti iš biuretės ant stiklo pirmąjį skysčio tūrį (pavyzdžiui, 1 cm^3) ir palaukti, kol jis pasklis ($\sim 1\text{ min.}$).
7. Įjungti stiklinę lempą ir pagal atšvaitą ant fiksuoto milimetrinio (ar kito) popieriaus nubrėžti skysčio atspindžio kontūrą.
8. Bandymą tęsti, laipsniškai išleidžiant didesnę skysčio kiekį ir fiksuojant pasklidusį jo plotą.

9. Gautus rezultatus užrašyti bandymų žurnale.
10. Tokia pat tvarka atlikti bandymą, naudojant kitą, pagal užduotį gautą, bandomąją medžiagą.
11. Eksperimentinius duomenis pavaizduoti grafiškai (S priklausomybė nuo V).
12. Apskaičiuoti kitus pagal užduotį reikalaujamus rodiklius.
13. Paruošti laboratorinio darbo ataskaitą.

Darbo ir gaisrinės saugos reikalavimai

1. Vienkartiniam bandymui naudoti ne daugiau kaip 30 cm^3 LUS ar DS.
2. Bandymą atlikti veikiant traukos ventiliacijai, jei naudojami LUS ar DS.
3. Atsargiai bandomuoju skysčiu užpildyti biuretę.
4. Netikslingai išsiliejusį LUS ar DS skystį sugerti poringa medžiaga (pjuvenos, audinys, popierius) ir pašalinti iš laboratorijos.

Kontroliniai klausimai

1. Kaip sąlygiškai skirstomi degieji skysčiai pagal pliūpsnio temperatūrą?
2. Apibūdinkite tarpfazinę medžiagų paviršiaus įtempimą.
3. Kas lemia drėkinimo kampą?
4. Apibūdinkite skysčio sklidimo koeficientą pagal Harkinsą.
5. Apibūdinkite skysčių sklidimo ant kietųjų ir skystųjų medžiagų paviršių mechanizmus.
6. Kokias žinote empirines LUS ir DS sklidimo rodiklių skaičiavimo formules?
7. Apibūdinkite laboratorinių bandymų atlikimo esmę.

1 laboratorinio darbo ataskaita

Bandomasis skystis _____

Kietasis kūnas _____

Kiti užduoties reikalavimai _____

1. Eksperimentinių duomenų surinkimas

1.1 lentelė. Eksperimentiniai duomenys

Eil. Nr.	Skysčio avarinio išsiliejimo rodikliai	Bandymų skaičius				
		1	2	3	4	5
1	Skysčio, išsiliejusio ant stiklo, tūris ($V \cdot 10^{-6}$) m ³					
2	Skysčio, pasklidusio ant stiklo, paviršiaus plotas ($S \cdot 10^{-4}$) m ²					
3	Skysčio, išsiliejusio ant _____, tūris ($V \cdot 10^{-6}$) m ³					
4	Skysčio, pasklidusio ant _____, paviršiaus plotas ($S \cdot 10^{-4}$) m ²					

1.2 lentelė. Eksperimentinių duomenų apdorojimo rezultatai

Eil. Nr.	Rodikliai, charakterizuojantys skysčio sklidimą	Sklidimas ant	
		Stiklo	_____
1	Proporcingumo koeficientas m ⁻¹	$k_0 =$	$k =$
2	Plėvelės storis m	$\delta_0 =$	$\delta =$
3	Ekvivalentinis skersmuo m	$d_0 =$	$d =$
4	Palyginamasis koeficientas	–	$Kp =$

2. Galutiniai rezultatai:

2.1. Eksperimentinių duomenų grafikas.

2.2. Išvados apie gautus bandymų rezultatus.

2. Sprogių zonų nejudančiame ore susidarymo įvertinimas, garantuojant lengvai užsiliepsnojančioms skysčiams

Darbo tikslas

1. Pagilinti teorines žinias.
2. Nustatyti rodiklius, charakterizuojančius sprogią zoną, garantuojant lengvai užsiliepsnojančioms skysčiams į nejudantį orą.

Teorinė dalis

Lengvai užsiliepsnojančių skysčių avarinio išsiliejimo atvejais sprogios garų koncentracijos nejudančiame ore virš skysčio susidaro tik tuo atveju, kai skysčio temperatūra yra lygi ar viršija pliūpsnio temperatūrą. Tada gaisro ir sprogimo pavojų galima charakterizuoti šiais rodikliais:

- 1) skysčio masę, perėjusia į garų fazę;
- 2) garų masę, kuri sudaro sprogios koncentracijos zoną;
- 3) garų koncentracijos skirtumais gamybinės patalpos aukščio atžvilgiu;
- 4) sprogios zonos tūriu.

Laikome, kad skysčio garai neišsisklaido ir nejudančiame ore pagal aukštį susidaro tam tikras jų koncentracijos gradientas, o garavimo plotas yra lygus skysčio paviršiaus plotui. Skysčio masę (G), perėjusią į garų fazę, galima apskaičiuoti taip:

$$G = C_S \cdot \rho \cdot S \cdot \sqrt{\frac{12D\tau}{(1 - C_S)}}, \quad (12)$$

čia: C_s – sočiųjų garų koncentracija tūrio dalimis; ρ – garų tankis kg/m^3 ; S – garavimo paviršiaus plotas m^2 ; D – difuzijos koeficientas m^2/s ; τ – garavimo laikas s.

Sočiųjų garų koncentracija tūrio dalimis (C_s) izoterminėmis sąlygomis yra pastovus dydis ir priklauso nuo atitinkamų slėgių santykių taip:

$$C_s = \frac{P_s}{P_b}, \quad (13)$$

čia: P_s – sočiųjų garų slėgis (Pa), nustatomas eksperimentu ar iš žinynų arba pagal Antuano lygtį (24), atsižvelgiant į temperatūrą; P_b – bendras sistemos slėgis (Pa) arba darbinis slėgis hermetiniame aparate ar barometriniame, jeigu aparatas susisiečia su atmosfera.

Garų tankis izoterminėmis sąlygomis priklauso nuo skysčio molekulinės masės (M) santykio su (iš esmės) atitinkamu temperatūrų santykiu taip:

$$\rho = \frac{M}{22,4 \cdot \frac{273 + t_d}{273}}, \quad (14)$$

čia t_d – darbinė temperatūra $^{\circ}\text{C}$.

Garų tankį taip pat galima rasti ir žinynuose.

Difuzijos koeficientas (D) paprastai imamas iš atitinkamų žinynų, o garavimo paviršiaus plotas (S) bei laikas (τ) – realūs konkrečiam atvejui.

Tačiau ne visi garai yra sprogioje zonoje, o tik jų dalis, kurią galima išreikšti koeficientu (K_s) taip:

$$K_s = \frac{G_{SZ}}{G}, \quad (15)$$

čia: G_{SZ} – garų masė sprogioje zonoje kg; G – bendra garų masė kg.

Sprogos zonos ribas, kuriose skysčio garai su oru gali sudaryti sprogu mišinį, galima nustatyti, naudojant tokias lygtis:

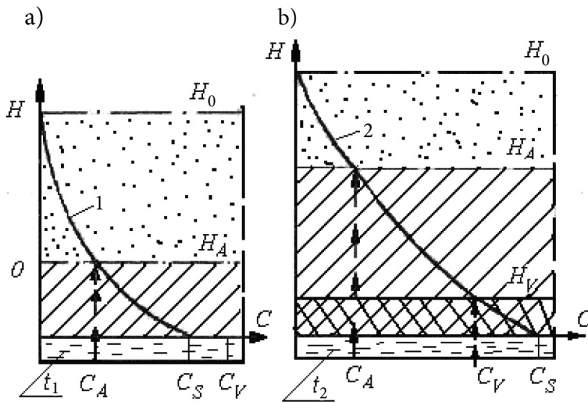
$$H_A = \sqrt{\frac{12D \cdot \tau}{1 - C_s} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{C_A}{C_s}}\right)}; \quad (16)$$

$$H_V = \sqrt{\frac{12D \cdot \tau}{1 - C_S} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{C_V}{C_S}}\right)}, \quad (17)$$

čia: H_A ir H_V – atitinkamai apatinė ir viršutinė sprogios zonos paviršiaus ribos pagal aukštį m ; C_A ir C_V – atitinkamai apatinė ir viršutinė užsiliepsnojimo koncentracijos ribos tūrio dalimis.

Garuojant degiesiems skysčiams į nejudantį orą, galimi du sprogiųjų dujų susidarymo atvejai (3 pav.):

- 1) sprogios zonos susidarymas, kai ji prasideda iš karto nuo skysčio paviršiaus, esant sąlygai $C_A < C_S \leq C_V$;
- 2) sprogios zonos susidarymas, kai ji prasideda toliau nuo skysčio paviršiaus, esant sąlygai $C_S > C_V$.



3 pav. Skysčių garų koncentracijų įtaka sprogiųjų zonų pobūdžiui: a) sprogi zona, prasidedanti iš karto virš skysčio; b) sprogi zona, atitolusi nuo skysčio paviršiaus; 1, 2 kreivės charakterizuoja garų koncentraciją po atitinkamo laiko τ , kai skysčio temperatūra $t_1 < t_2$;



– mažų koncentracijų zona, $C < C_A$;



– užsiliepsnojimo koncentracijų zona, $C_A \leq C \leq C_V$;



– didelių koncentracijų zona, $C > C_V$;



– vonia su degiuoju skysčiu

Pagrindinių sprogos zonos rodiklių skaičiavimo formulės pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Rodiklių skaičiavimo formulės

Rodikliai	Formulės	
	kai $C_A < C_S \leq C_V$	kai $C_S > C_V$
Sprogių garų koeficientas K_S	$K'_S = 1 - \sqrt{\frac{C_A}{C_S}}$	$K''_S = \sqrt{\frac{C_V}{C_S}} - \sqrt{\frac{C_A}{C_S}}$
Sprogių garų masė G_{SZ} , kg	$G'_{SZ} = K'_S \cdot G$	$G''_{SZ} = K''_S \cdot G$
Sprogos zonos tūris V , m ³	$V' = S \cdot H_A$	$V''' = S(H_V - H_A)$

Išgaravusio skysčio masės prognozė pagal (12) formulę laikoma patikima tik naftos produktams. Kitais atvejais rezultatai gali būti nepakankamai tikslūs. Tiriant kitus skysčius, būtina šią formulę patikrinti eksperimentu.

Tuo atveju, kai degusis skystis garuoja į degazuotą izoterminę kamerą, susidaro papildomas garų slėgis, kurį galima lengvai išmatuoti manometru. Nustatant išgaravusio skysčio masę eksperimentu, tikslinga naudotis šia dujų būvio lygtimi:

$$PV = GRT, \quad (18)$$

čia: P – garų viršslėgis kameroje Pa; V – laisvos kameros tūris m³; G – išgaravusio skysčio masė kg; T – darbinė temperatūra K; R – dujų konstanta.

Konkretų garų viršslėgio dydį, panaudodami vandens manometrą, galime apskaičiuoti taip:

$$P = 9,81 \cdot h, \quad (19)$$

čia h – vandens stulpo aukščio skirtumo parodymas manometru mm.

Dujų konstantą galime apskaičiuoti taip:

$$R = 8314/M, \quad (20)$$

čia M – skysčio molekulinė masė.

Tada išgaravusio izoterminėje kameroje skysčio masę galime apskaičiuoti taip:

$$G = 1,18 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{M \cdot V}{T} \cdot h, \quad (21)$$

čia: G – išgaravusio skysčio masė kg; M – skysčio molekulinė masė; V – laisvos kameros tūris m^3 ; T – darbinė temperatūra K; h – vandens stulpo aukščio skirtumo parodymas manometru mm.

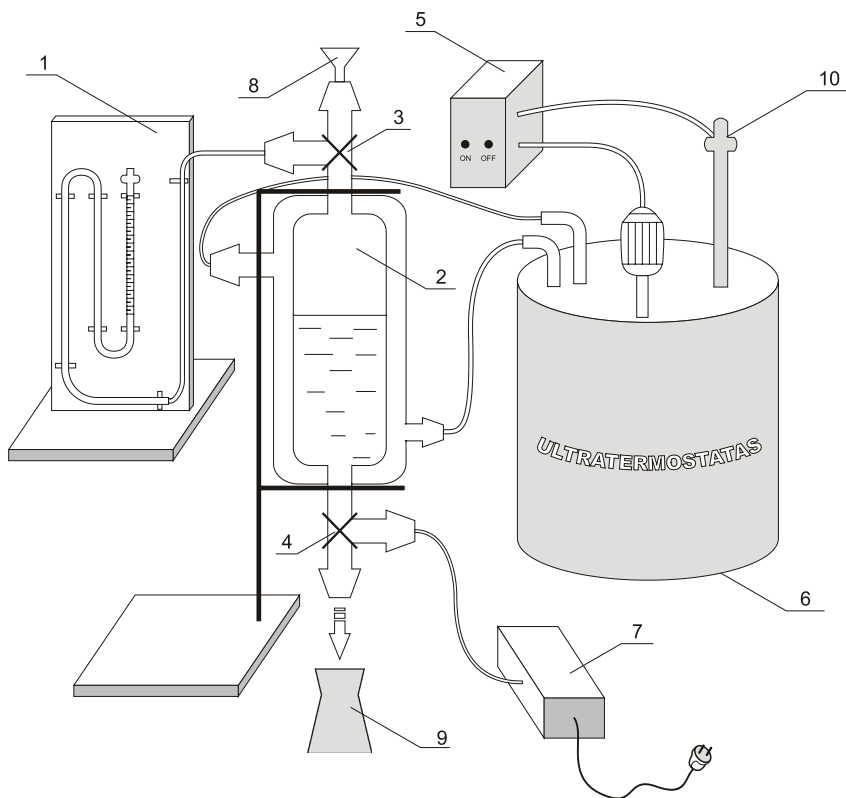
Naudojami prietaisai ir darbo principai

Bandymą atliekame su įrenginiu, kurio schema parodyta 4 paveiksle. Įrenginio pagrindinė dalis yra izoterminė kamera (2), kurioje garuoja bandomasis skystis. Skysčio garų viršslėgį (lyginant su atmosferiniu) fiksuojame manometru (1). Pagal skystį nustatyta temperatūra palaikoma izoterminėje kameroje (2) termoregulatoriumi (5) ir ultratermostatu (6). Pasirinktą temperatūrą nustatome kontaktiniu termometru (10). Prieš supildami bandomąjį skystį, izoterminę kamerą (2) degazuojame mikrokompresoriumi (7), pašalindami ankstesnio bandomojo skysčio garų likučius. Skystis į izoterminę kamerą (2) yra supilamas per piltuvėlį (8).

Bandymų esmė tokia: skysčiui garuojant izoterminėje kameroje, fiksuojame slėgio pokytį pasirinktame laiko intervale.

Užduotys

1. Išnagrinėti rodiklius, charakterizuojančius gaisro ir sprogimo pavojų, garuojant LUS ar DS į nejudantį orą.
2. Eksperimentu nustatyti išgaravusią į nejudrią oro erdvę skysčio masę ir apskaičiuoti pagrindinius rodiklius, charakterizuojančius gaisro ir sprogimo pavojų pagal teorines ir eksperimentines lygtis (12–21).
3. Remiantis eksperimentiniais ir teoriniais duomenimis nubrėžti funkcijų $G = f(\tau)$ ir $V = f(\tau)$ grafikus bei padaryti išvadą apie teorinės lygties (12) panaudojimo praktines galimybes.



4 pav. Bandymo įrenginys: 1 – U pavidalo vandens manometras;
 2 – izoterminė kamera; 3, 4 – kranai; 5 – termoreguliatorius;
 6 – ultratermostatas; 7 – mikrokompresorius; 8 – piltuvėlis;
 9 – kolba; 10 – kontaktinis termometras

Darbo atlikimo tvarka

1. Susipažinti su laboratorinio darbo įranga, darbo ir gaisrinės saugos reikalavimais.
2. Gauti iš darbo vadovo bandomąjį skystį ir užduotį. Iš žinynų ar skaičiuojant nustatyti skystio garso ir sprogo pavojaus rodiklius. Pažymėti duomenis bandymų žurnale.

3. Persukti kranus (3, 4) taip, kad paskui įjungę mikrokompresorių (7) per 5 min. prapūstume izoterminę kamerą (2).
4. Po 5 min. išjungti mikrokompresorių (7), persukti kranus (3, 4) ir per piltuvėlį (8) supilti nurodytą kiekį bandomojo skysčio.
5. Sureguliuoti ultratermostato (6) kontaktinį termometrą (10) pagal pasirinktą temperatūrą, gavus leidimą, įjungti šį prietaisą ir skystį šildyti nurodytą laiką.
6. Persukti kraną (3) ir bandymą atlikti per nustatytą laiką. Manometro (1) rodmenis fiksuoti (atitinkamais intervalais) bandymų žurnale.
7. Baigus bandymą atidaryti kranus (3, 4), išleisti į kolbą (9) bandomąjį skystį ir per 20 min. prapūsti izoterminę kamerą. Paskui išjungti termoreguliatorių (5) ir ultratermostatą (6).
8. Apskaičiuoti reikalaujamus pagal užduotį rodiklius, o reikiamus pavaizduoti grafiškai.
9. Paruošti laboratorinio darbo ataskaitą.

Darbo ir gaisrinės saugos reikalavimai

1. Ypač atsargiai elgtis su visomis stiklinėmis įrengimo detalėmis. Esant būtinumui, kreiptis pagalbos į darbo vadovą.
2. Veikiant traukos ventiliacijai, prapūsti izoterminę kamerą.
3. Atsargiai elgtis su bandomuoju skysčiu ypač supilant jį į izoterminę kamerą. Visada papildomai įsitikinti, jog kranai nustatyti reikiamoje padėtyje.
4. Sudužus įrangai ir išsiliejus skysčiui, jį nedelsiant išvalyti ir pašalinti iš laboratorijos.

Kontroliniai klausimai

1. Kuo galima charakterizuoti gaisro ir sprogo pavojų, kai degusis skystis išsilieja ir garuoja į nejudančio oro erdvę?
2. Kokias žinote teorinio pobūdžio lygtis, skirtas sprogią zonai charakterizuoti?
3. Apibūdinkite, kaip eksperimentu nustatyti ir apskaičiuoti išgaravusio degiojo skysčio masę į nejudantį orą.
4. Apibūdinkite laboratorinio darbo atlikimo esmę.

2 laboratorinio darbo ataskaita

Bandomasis skystis _____

Bandymo temperatūra $^{\circ}\text{C}$ _____

Barometrinis oro slėgis Pa _____

Užsiliepsnojimo koncentracijos ribos:

$C_A =$ _____ tūrio dalys;

$C_V =$ _____ tūrio dalys.

Skysčio pliūpsnio temperatūra $^{\circ}\text{C}$ _____

Skysčio molekulinė masė $M =$ _____

Antuano lygties koeficientai: $A =$ _____;

$B =$ _____; $C =$ _____ arba

P_s (1 priedas).

Difuzijos koeficientas $D \text{ m}^2/\text{s}$.

Izoterminės kameros tūris – 777 cm^3 .

Skersmuo – $7,3 \text{ cm}$.

Kiti užduoties reikalavimai _____

2.2 lentelė. Eksperimentiniai duomenys ir skaičiavimo rezultatai

Matavimo laikas, min.	Manometro rodmenys, mm vandens stulpelio	Bendra garų masė, kg		Paklaida %	Sprogių garų tūris, $V \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
		$\partial_{eksp} \cdot 10^{-5}$	$\partial_{sk} \cdot 10^{-5}$		
1					
2					
3					
–					
–					
–					
i					

Pastaba: ∂_{eksp} apskaičiuoti pagal (21), ∂_{sk} apskaičiuoti pagal (12), V apskaičiuoti pagal 2.1 lentelėje pateiktas formules.

Paklaidą apskaičiuoti taip:

$$Q = 200(G_{eksp} - G_{sk}) / (G_{eksp} + G_{sk}). \quad (22)$$

1. Eksperimentinių ir apskaičiuotų duomenų rezultatai.
2. Išvados apie gautus eksperimentinius ir apskaičiuotus rezultatus.

3. Padidėjusio slėgio, šildant skystį aparate, įtaka gaisro pavojui

Darbo tikslas

1. Pagilinti teorines žinias.
2. Įsisavinti slėgio pokyčio šildomuose skysčiu užpildytuose aparatuose parametrų nustatymo metodiką.

Teorinė dalis

Šildant dujomis ar skysčiu užpildytus hermetinius aparatus ir vamzdynus, juose padidėja slėgis, kuris, viršydamas leistiną, gali sukelti technologinės įrangos avarijas. Paprastai avarijų metu įrangoje atsiranda įtrūkių, plyšių, per kuriuos degieji produktai patenka į gamybinės patalpas ar atviras aikštes ir atsiranda gaisro bei sprogimo pavojus.

Aparatuose, užpildytuose dujomis ar perkaitintais garais, šildant slėgis didėja proporcingai temperatūrai. Dažniausiai jis nėra didelis. Galinis slėgis yra skaičiuojamas pagal formulę:

$$P_g = kP_p T_g / T_p, \quad (23)$$

čia: P_g ir P_p – atitinkamai galinis ir pradinis slėgis aparate MPa; T_g ir T_p – atitinkamai galinė ir pradinė temperatūra K; k – dujų ar garų suspaudimo koeficientas, esant atitinkamai temperatūrai ir slėgiui (paprastai duodamas žinynuose ir skaičiuojamas iš atitinkamų grafikų).

Aparatuose ar technologinėse talpose, iš dalies užpildytose skysčiu, garų slėgis vadinamas sočiųjų garų slėgiu. Jį galima apskaičiuoti pagal Antuano lygtį:

$$P_g = 133,3 \cdot 10^4 - \frac{B}{C + t_d}, \quad (24)$$

čia: A, B, C – lygties koeficientai; t_d – skysčio darbinė temperatūra °C.

Šios lygties koeficientus, esant atitinkamoms temperatūroms, ir slėgio dimensiją galime rasti žinynuose.

Tačiau ypač pavojingi yra hermetiški aparatai ir kita technologinė įranga, visiškai užpildyta skysčiu ar suskystintomis dujomis. Tuo atveju slėgio pokytį sunku prognozuoti, nes šildant plečiasi ne tik funkcionuojanti medžiaga, bet ir pats aparatas. Svarbiausia, skystis paprastai plečiasi labiau nei aparatas. Tokiais atvejais, netgi esant nedideliems aplinkos temperatūros svyravimams, gali įvykti avarija. Tada galinis slėgis išreiškiamas taip:

$$P_g = P_p + \Delta p, \quad (25)$$

čia: P_g ir P_p – atitinkamai galinis ir pradinis skysčio slėgis MPa; Δp – skysčio slėgio prieauglis dėl temperatūros pokyčio MPa.

Visiškai užpildytame šildomame hermetiškame aparate skysčio slėgio prieauglis Δp (be aparato matmenų pokyčio dėl temperatūros poveikio) išreiškiamas taip:

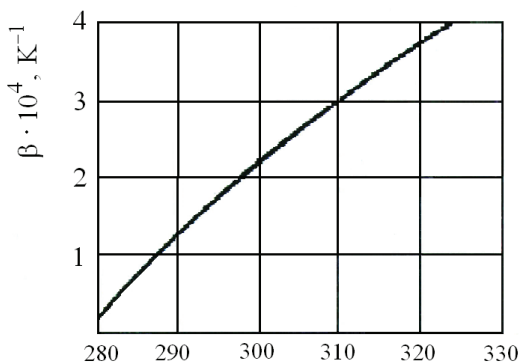
$$\Delta p = \frac{\beta}{\beta_s} \Delta T, \quad (26)$$

čia: β – terminis skysčio plėtimosi koeficientas 1/K; β_s – skysčio tūrinio suspaudimo koeficientas 1/MPa; ΔT – temperatūros pokytis K.

Terminis skysčio plėtimosi koeficientas (β) priklauso nuo skysčio temperatūros (5 pav.). Kai skystis yra vanduo, šio koeficiento reikšmė priklausomai nuo temperatūros ($T_{vid.}$) skaičiuojama taip:

$$\beta_{(H_2O)} = [4,5 + 1,1 \cdot (T_{vid.} - 283)^{0,975}] \cdot 10^{-5}. \quad (27)$$

Skysčių tūrinio suspaudimo koeficientai mažai priklauso nuo temperatūros bei slėgio ir plačiose šių rodiklių ribose yra maždaug pastovūs dydžiai. Sutarta, kad vandens tūrinio suspaudimo koeficientas lauko sąlygomis eksploatuojamiems rezervuarams yra $4,9 \cdot 10^{-4}$ 1/MPa.



5 pav. Terminio vandens plėtimosi koeficiento priklausomybė nuo temperatūros

Siekdami išvengti avarijų, aparatus ar kitas talpas nevisiškai užpildome skysčiais. Tada laisvoje aparato erdvėje slėgį lemia skysčio garų slėgis esant konkrečiai temperatūrai.

Mažiausią laisvos erdvės tūrį arba rezervuaro užpildymo laipsnį skaičiuojame taip:

$$V_l = V_{ap} \beta \cdot \Delta T_{\max}; \quad (28)$$

$$\xi = 1 - \beta \cdot \Delta T_{\max}, \quad (29)$$

čia: V_l – laisvos erdvės aparate tūris m^3 ; V_{ap} – aparato tūris m^3 ; ξ – aparato užpildymo skysčiu laipsnis; $\Delta T_{\max}$ – maksimalus galimas temperatūros pokytis eksploatacijos sąlygomis K; β – skysčio terminio plėtimosi koeficientas. Taigi pagrindiniai gaisro pavojaus šildomų hermetiškų, visiškai užpildytų skysčiu talpų rodikliai yra skysčio terminio plėtimosi koeficientas ir temperatūros pokyčio intervalas.

Rekomenduojamas technologinėms talpoms su suskystintomis dujomis $\xi = 0,85 - 0,9$, su degiaisiais skysčiais $\xi = 0,9 - 0,95$.

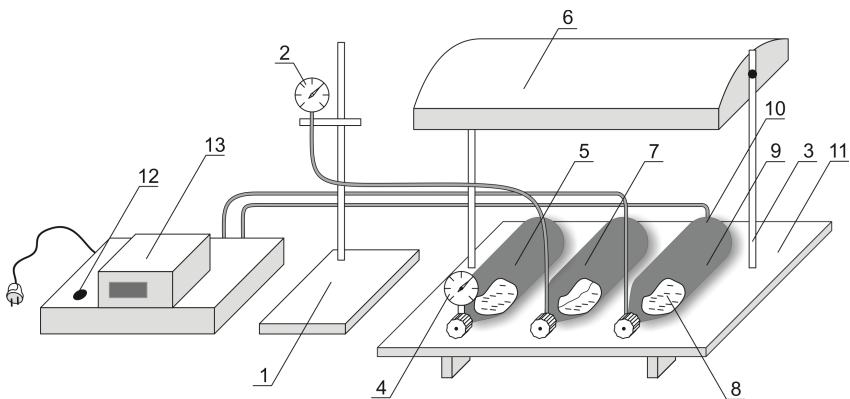
Įranga ir prietaisai

Laboratorinė įranga (6 pav.) turi tris vienodus aukšto slėgio indus (balionus): du bandomuosius (5, 7) ir vieną kontrolinį (9). Vienas bandomasis

indas (5) ir kontrolinis indas (9) yra visiškai užpildyti vandeniu. Kitas bandomasis indas (7) užpildytas vandeniu nevysiškai (~ 80 % tūrio). Vienas termoelektrinis keitiklis (8) įmontuotas kontrolinio indo (9) viduje ir yra indą užpildančiame vandenyje. Kitas termoelektrinis keitiklis (10) pritvirtintas prie kontrolinio indo korpuso. Termoelektriniai keitikliai per mygtuką-perjungiklį (12) sujungti su elektroniniu termometru (13). Bandomuosiuose induose susidarantys slėgiai matuojami manometrais (2, 4). Vienas manometras (2) pritvirtintas prie stovo (1), kitas (4) tiesiog prie bandomojo indo (5). Indai šildomi virš jų prie kreipiklių (3) pritvirtintu radiaciniu šildytuvu (6). Indų šildymo greitį galima parinkti keičiant šildytuvo aukštį. Indai išdėstyti ant padėklo (11).

Užduotys

1. Susipažinti su laboratorinio darbo teorine dalimi.
2. Atlikti eksperimentą, nustatant pagrindinius rodiklius, charakterizuojančius gaisro ir sprogimo pavojų, šildant hermetinius aparatus su skysčiais. Šiuos pačius rodiklius nustatyti ir skaičiuojant.
3. Pateikti priklausomybių $P_{eks} = f(T_{vid.})$, $P_{sk.} = f(T_{vid.})$ rezultatus, juos palyginti.
4. Paruošti laboratorinio darbo ataskaitą.



6 pav. Laboratorinė įranga: 1 – stovas; 2, 4 – manometrai; 3 – kreipikliai; 5, 7 – bandomieji indai; 6 – šildytuvas; 8, 10 – termoelektriniai keitikliai; 9 – kontrolinis indas; 11 – padėklas; 12 – mygtukas-perjungiklis; 13 – elektroninis termometras

Darbo atlikimo tvarka

1. Susipažinti su laboratorinio darbo įranga, prietaisais ir darbo bei gaisrinės saugos reikalavimais.
2. Įjungti į elektros tinklą elektroninį termometrą ir, praėjus 5 min., užrašyti manometrų ir elektroninio termometro rodmenis. Elektroninio termometro rodmenys fiksuojami esant nenuspaustam mygtukui-perjungikliui (išmatuojama kontrolinio indo vandens temperatūra) ir nuspaudus jį (išmatuojama kontrolinio indo paviršiaus temperatūra).
3. Patikrinti šildytuvo aukštį. Jo atstumas nuo balionų paviršiaus turi būti nuo 6 iki 8 cm. Šildytuvą įjungti į elektros tinklą.
4. Kas 2 min. pagal manometrų rodmenis registruoti slėgių kitimą bandomuosiuose induose ir pagal elektroninio termometro rodmenis registruoti vandens temperatūrą kontroliniame inde ir jo paviršiaus temperatūrą. Kai tik elektroninio termometro ekrane pasirodys skaičius, didesnis už 70, esant nuspauktam mygtukui-perjungikliui, išjungti šildytuvą iš elektros tinklo ir baigti eksperimentą.

Kontroliniai klausimai

1. Kokie veiksniai lemia slėgio pokytį aparatuose, užpildytuose skysčiais, eksploatacijos sąlygomis?
2. Kokias žinote teorinio pobūdžio lygtis, nusakančias slėgio priklausomybę nuo kitų rodiklių gaisro pavojaus aspektu?
3. Galinis slėgis. Kokie yra jo skaičiavimo ypatumai?
4. Apibūdinkite laboratorinio darbo atlikimo esmę.
5. Kaip manote, kurioje hermetinio indo vietoje galimas skysčio garų (dujų) išsiveržimas, esant ribinėms sąlygoms?
6. Ar visais atvejais esant nuotėkiui galimas gaisro kilimo pavojus, kokie veiksniai tam turi lemiamos įtakos?
7. Kokius žinote gamybos ar technologinio proceso reguliavimo mechanizmus, užtikrinančius avarijos prevenciją?

Temperatūrai matuoti naudojamas EMT-100-K tipo elektroninis termometras, komplektuojamas su TP-202K tipo termoelektriniu keitikliu.

Laboratoriniame darbe dėl indų konstrukcijos ypatumų yra panaudoti Txk tipo termoelektriniai keitikliai. Todėl elektroninio termometro rodmenys neatitinka temperatūrų tikrų verčių. Perskaičiuojant elektroninio termometro rodmenis į tikrąsias temperatūrų vertes Celsijaus skalėje naudotis 3.1 lentele.

3.1 lentelė. Elektroninio termometro rodmenų perskaičiavimas į temperatūrų vertes

Elektroninio termometro rodmuo	Temperatūra, °C	Elektroninio termometro rodmuo	Temperatūra, °C
3	10,0	40	32,5
4	10,5	41	33,0
5	11,0	42	33,5
6	11,5	43	34,0
7	12,0	44	35,0
8	13,0	45	35,5
9	13,5	46	36,0
10	14,0	47	36,5
11	15,0	48	37,0
12	15,5	49	38,0
13	16,0	50	38,5
14	16,5	51	39,5
15	17,0	52	40,0
16	18,0	53	40,5
17	18,5	54	41,0
18	19,0	55	41,5
19	19,5	56	42,0
20	20,0	57	43,0
21	21,0	58	43,5
22	21,5	59	44,0

3.1 lentelės tęsinys

Elektroninio termometro rodmuo	Temperatūra, °C	Elektroninio termometro rodmuo	Temperatūra, °C
23	22,0	60	44,5
24	22,5	61	45,0
25	23,0	62	46,0
26	24,0	63	46,5
27	24,5	64	47,0
28	25,0	65	47,5
29	25,5	66	48,0
30	26,0	67	49,0
31	27,0	68	49,5
32	27,5	69	50,0
33	28,0	70	51,0
34	29,0	71	51,5
35	29,5	72	52,0
36	30,0	73	52,5
37	20,5	74	53,0
38	31,0	75	54,0
39	32,5	–	–

3 laboratorinio darbo ataskaita

Šildytuvo atstumas nuo aukšto slėgio indų _____ m.

Bandymo trukmė _____ min.

Vandens tūrio suspaudimo koeficientas _____ MPa⁻¹.

Kiti užduoties reikalavimai _____

3.2 lentelė. Eksperimentiniai duomenys

Laikas nuo bandymo pradžios, min.	Matuojamas rodiklis				
	temperatūra, ° K			slėgis bandomuosiuose induose, užpildytuose vandenių, Pa	
	vandens kontroliniame inde	kontrolinio indo paviršiaus	vidutinė	visiškai	nevisiškai
0					
2					
4					
–					
i					

Pastaba: vidutinę temperatūrą skaičiuoti taip:

$$T_{vid.} = 0,5(T_V + T_p), \quad (30)$$

čia: T_V – vandens temperatūra kontroliniame inde; T_p – kontrolinio indo paviršiaus temperatūra.

3.3 lentelė. Eksperimentinių duomenų apdorojimo rezultatai

Eil. Nr.	Rodikliai, charakterizuojantys šildymo pavojų		Temperatūrų intervalas, K		
			1	2	3
1	Temperatūra, °K:	pradinė			
		galinė			
		vidutinė			
2	Temperatūros pokytis, ° K				
3	Terminis vandens plėtimosi koeficientas, ° K ⁻¹				
4	Pradinis slėgis, MPa				
5	Slėgio prieauglis, MPa				
6	Galinis slėgis, MPa				

1. Eksperimentinių ir apskaičiuotų duomenų rezultatai.
2. Išvados.

4. Nepavojingų gaisrui technologinių plovimo priemonių naudojimas technologiniams aparatams ir detalėms valyti

Darbo tikslas

1. Pagilinti teorines žinias.
2. Gauti praktinių įgūdžių, nustatant užterštų paviršių plovimo efektyvumą.

Teorinė dalis

Užterštų paviršių valymas – tai procesas, kurio metu nuo jų pašalinami iki reikiamo švarumo laipsnio mineralinės, neorganinės bei organinės kilmės technologiniai ir eksploataciniai teršalai (dulkės, smėlis, tepalai, pastos, dervos, emulsijos ir t. t.). Švarių paviršių vadiname tokį paviršių, ant kurio išvalius lieka tik tai gamybai leistinas (jos netrikdantis) teršalų kiekis.

Pusfabrikačių, gaminių ir technologinės įrangos paviršiams švarinti vis dar naudojami įvairūs organinės kilmės tirpikliai: benzinai, žibalai, acetonas, terpentinas ir kt. Tačiau šie LUS ir DS yra gana lakūs, o jų mišiniai su oru gali sprogti. Todėl jais plaunant paviršius, reikalinga speciali įranga, papildamos apsaugos priemonės. Šios medžiagos yra toksiškos dirbančių asmenų sveikatai. Vietoje šių medžiagų racionalu naudoti kitas, nepavojingas gaisrui ir sprogimui technologines plovimo priemones (TPP).

TPP – tai daugiakomponenčiai skysti cheminių medžiagų mišiniai, dažniausiai turintys sudėtyje paviršiaus aktyviųjų medžiagų (PAM), kurios mažina ploviklio paviršiaus įtempimą.

TPP parinkimas bei plovimo technologija priklauso nuo teršalų rūšies, teršimo šaltinio ir kt. TPP parenkame naudodamiesi literatūros duomenimis.

PAM charakteristika

Amfifiliniai junginiai – tai molekulės, turinčios tiek hidrofilinę, tiek hidrofobinę dalį. Kaip pavyzdį galima paminėti pakankamai paprastas medžiagas, tokias kaip trumpagrandžiai spiritai ir amidai (akrilamidas). Šio tipo molekulės paprastai aktyviai veikia paviršių ir nebūtinai turi poveikį stipriam paviršinio įtempio sumažėjimui. Nubrėžti aiškią ribą tarp molekulinės struktūros ir to, kas iš tikrųjų yra PAM, gana sudėtinga, todėl susikoncentruosime ties tokia darbine sąvoka: PAM – tai paviršinio aktyvumo amfifiliniai junginiai, kurie agreguojasi (save organizuoja) vandenyje arba kituose tirpikliuose ir sudaro įvairias mikrostruktūras (pvz., mikrolašelius ar dvigubus sluoksnius). Pasirinkę tokią apibrėžtį, mes atmetame daugelį reikšmingų polimerinių dispergentų (želatiną, polivinilpirolidoną), kurie aktyviai veikia paviršių ir atlieka daugelį kitų PAM būdingų funkcijų, tokių kaip koalescencijos ir flokuliacijos dalelių stabilizavimas. Vis dėlto kai kurie polimeriniai dispergentai lieka – blokinių kopolimerų pagrindo vidutinio molekulinio svorio PAM, sudarančios mikrostruktūras, analogiškas mažo molekulinio svorio medžiagoms.

PAM klasifikavimas

PAM klasifikavimo schemos tradiciškai yra paremtos fizikinėmis savybėmis arba funkcionalumu. Labiausiai paplitusi ir klasifikacijai naudojama savybė yra joniškumas – PAM gali turėti krūvį arba jo neturėti, būti joninė arba nejoninė. Kita savybė yra molekulinė masė – nominaliai PAM yra arba mažos molekulinės masės ($MM < 400$), arba didelės molekulinės masės ($MM \approx 2000\text{--}20\,000$). Dar viena svarbi PAM savybė yra fizikinė būsena. Įprastinėmis sąlygomis PAM – tai kristališki kietieji kūnai, amorfinė pasta arba skystis. Kadangi daugelis pramoniniu ir biologiniu požiūriu

reikšmingų PAM turi vieną ar du angliavandenilinius radikalus, skiriamos dvi PAM klasės. Paprastai PAM funkcionalumas yra dažniau pasitelkiamas klasifikavimui atlikti. PAM gali būti geri dispergentai, emulsikliai, antiputokšliai, flokuliantai ar flotacijos agentai.

PAM tipai

Pagrindinė PAM klasifikacija remiasi jų paviršiniu aktyvumu ir pageidautina agregacija skystuose skiriamuosiuose paviršiuose, pvz., „dujos–skystis“, „skystis–skystis“ ar „kietoji medžiaga–skystis“. Kadangi tai yra amfifiliniai junginiai, jie visada turi mažiausiai dvi funkcines dalis – solvofilinę (kuri paprastai yra hidrofilinė) dalį, kuri dažniausia solvatuojasi tirpiklyje, ir solvofobinę dalį, kuri tame pačiame tirpiklyje mažai solvatuojasi.

Solvofiliškumas (hidrofiliskumas vandens atžvilgiu) paprastai yra būdingas funkcinėms grupėms, pasižyminčioms artimu giminingumu su tirpikliu. Šios grupės gali turėti krūvį. Krūvį turinčios grupės būna gan paprastos, pvz., amfifilinių (karboninių, sieros ir sulfoninių) rūgščių dariniai, tiek cviterjoniniai, tiek mezojoniniai, be to, šių grupių yra sudėtingesnės struktūros (bolaforma, gemini ar polimerinės PAM). Krūvio neturinčios solvofilinės grupės gali turėti bet kokių formaliai krūvio neturinčių polinių grupių; labiausiai paplitusi yra hidroksilinė grupė. Nejoninės solvofilinės grupės yra linkusios egzistuoti sudėtingų sudėtinių struktūrų forma, analogiškai struktūroms, atrastoms oksietilinto glicerino darinių atveju.

Solvofobiškumas (hidrofobiškumas vandens atžvilgiu) dažniausiai pasireiškia linijinių arba šakotųjų angliavandenilinių grandinių atveju. Fluoro anglies grandinės taip pat yra tipiškai hidrofobinės. Daug pramoninei reikšmingų PAM turi sudėtingesnes solvofobines grupes, o šios savo ruožtu – įvairias fenilines ir naftenines grupes. Solvofobinių grupių su vienu ir dviem angliavandeniliais skaičius – tai reikšmingas PAM mikros-truktūros kontrolės rodiklis, nes tokios grupės atlieka esminį vaidmenį nustatant plėvelių, kurias gali sudaryti PAM, kreivumą.

Daugumą praktinių (realių) PAM sistemose tirpiklio vaidmenų atlieka vanduo arba organinis tirpiklis, kuris yra nemišlus su vandeniu. Papildomos galimybės naudoti PAM buvo atrastos poliniams tirpikliams,

Krūvis

Anijoninēs PAM

$$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2-\underset{\text{DBC}}{\text{C}_6\text{H}_4}-\text{SO}_3^- \text{Na}^+ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3^- \text{Na}^+$$

DS

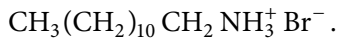
Tokioms medžiagoms priskiriamas, pvz., natrio dodecilbenzolsulfonatas (DBS), dėl savo veiksmingumo ir mažos savikainos išstūmęs muilus, naudojamus kaip plaunamosios priemonės. Alkilsulfatai (natrio dodecilsulfatas (DS)), alkileterio sulfatai, alkilsulfonatai, antriniai alkilsulfonatai, arilsulfonatai (alkilbenzolsulfonatai), sultonatų metilo eteriai, α -olefinsulfonatai bei alkilsukcinatų sulfonatai sudaro dar vieną reikšmingą anijoninių PAM klasę. Riebiosiose rūgštyse ir sulfojunginiuose yra reikšmingiausių anijoninių grupių: karboksilinė ($-\text{CO}_2^-$), sulfo- ($-\text{SO}_3^-$) ir sulfoninė ($-\text{SO}_3^-$). Bazingumas ir faziniai duomenys leidžia išdėstyti šias tris grupes tvarka, atitinkančia santykinį jų hidrofilumą:



Fosfatiniai mono- ($-\text{P}(\text{OH})\text{O}_2^-$) ir dianijonai ($-\text{PO}_3^{2-}$) – tai taip pat svarbūs hidrofilinių grupių atstovai. Nors fosfatiniai dianijonai yra sąlygiškai pagrindiniai ir protonizuojami neutraliose ir mažo šarmingumo terpėse, jie lieka įkrauti iki palyginti žemo pH, bet jų dydis nulemia mažą krūvio tankumą. Daug mažesnio dydžio karboksilatai pasiekia didesnį krūvio tankumą ir yra labiau hidrofiliški šios serijos atstovai, nepaisant to, kad jie protonizuojami pH 4–5 diapazone.

Katijoninės PAM

Labiausiai paplitusios katijoninės PAM savo bazėje turi ketvirtinį azoto atomą. Pagrindiniai šios klasės atstovai yra alkilamonio halogenidai ir tetraalkilamonio halogenidai. Alkilamonio halogenidai, tokie kaip dodecilamonio bromidas (DAB), yra puikūs vandenilio donorai ir gali iš esmės sąveikauti su vandeniu:

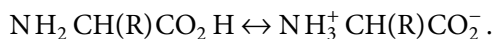


Be to, panašios amonio druskos atskelia protoną, o gauti amfiliniai pavyzdžiai jau yra panašesni į nejonogenines PAM. Tetraalkilamonio grupė, priešingai nei dodecilamonio bromidas, negali sudaryti vandenilinių jungčių, tačiau jos elgsena primena stiprią hidrofilinę grupę.

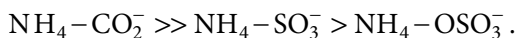
Piridinas su jam giminingais junginiais (chinolinu, izochinolinu, pirazinu ir jų dariniais) yra didžiulės ketvirtinių arilo darinių PAM klasės pagrindas. N-alkilpiridinio halogenidai lengvai gaunami iš alkilhalogenidų. Herbicidinei 4,4'-dipiridinių junginių pagrindo dikatijonų šeimai būdinga savybė prijungti elektronus; ši šeima yra išsamiai tirama kaip donorų ir akceptorų sistema. Fosforas irgi gali būti pakeistas keturiomis alkilinėmis grupėmis, kurios duoda alkilfosfonines PAM, nors šia galimybe naudojamasi daug rečiau.

Cviterjoninės PAM

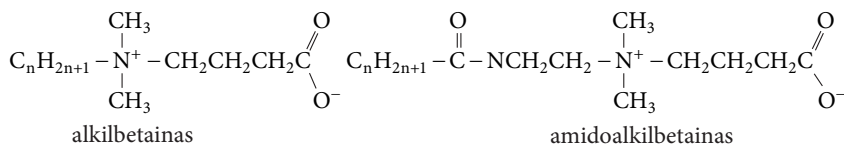
Tikrieji cviterjonai, tokie kaip α -aminorūgštys, gali jonizuotis dėl tarp-molekulinės protonų pernašos:



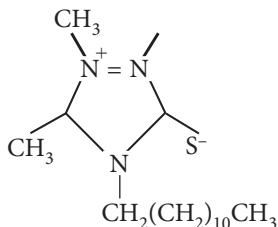
Bet kurių anijoninių ir katijoninių grupių kombinacija viengrandinėje amfifilinėje molekulėje skatina amfoterinių savybių atsiradimą ir cviterjoninių PAM susidarymą net ir tuo atveju, jei tarpmolekulinė protono pernaša yra negalima. Pavyzdžiui, ketvirtinis azotas trialkilamonio alkanoatuose su karboksilatu yra atskirtas alkanoatine angliavandeniline grandine, kurioje ketvirtinis azoto atomas atsiranda dėl sąveikos su alkanoato ω -anglimi. Panašių kombinacijų randama alkilsulfonatuose ir alkilsulfatuose. Išnagrinėjus duomenis, susijusius su *phase data* ir bazingumu, pastebimas cviterjonų hidrofiliskumo sumažėjimas tokioje šeimoje:



Betainai sudaro itin reikšmingą cviterjoninių PAM klasę, tarp jų yra alkilbetainų, amidoalkilbetainų ir heterociklinių betainų:



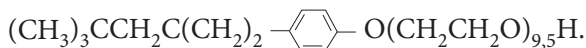
Mezjoninės molekulės ir PAM gali būti pavaizduotos tik rezonansinių struktūrų formaliai skaidant krūvį forma, nes atomai, tikrovėje turintys formalų krūvį, nėra funkciniai jonizuojami, panašiai kaip anijoninės rūgščių grupės, neutralizuotos vandens hidrolizės būdu. Kaip pavyzdį galima pateikti triazoltiolatą:



DDTT (2,3-dimetil-4-dodecil-1,2,4-triazolio-5-tiolatas)

Nejonogeninės PAM

Daugumos nejonogeninių PAM struktūra yra analogiška anijoninių ir katijoninių PAM struktūrai, išskyrus PAM, kurių galinė polinė grupė neturi krūvio. Jei elektrostatinio krūvio nėra, sąveikaujant nejonogeninių PAM galinėms polinėms grupėms, vyrauja sterinės ir osmosinės jėgos. Labiausiai paplitusios nejonogeninių PAM galinės polinės grupės yra oligomerinės etilenoksido grandinės. Kiti būdingi nejonogeninių PAM galinių polinių grupių atstovai yra paprastieji sacharidai, kaip kad gliukozė ir sacharozė. Išsamiausiai ištirta alkilietilenoksidinių PAM, dar vadinamų etoksilatais, klasė pristatoma bendra formule C_nE_m , čia n – alkilinio pakaito ilgis, o m – etilenoksido grandžių skaičius galinėje grupėje. Gimininga PAM klasė – alkilfenoliniai etoksilatai. Ko gero, žinomiausias šios PAM klasės atstovas yra tritonas X-100 (TX-100):



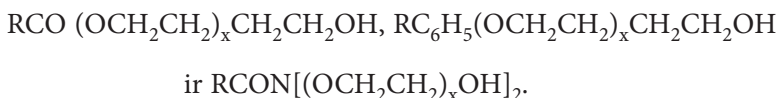
TX-100 (polietilenglikolio monoalkilfenilo eteris)

Blokinių kopolimerų nejonogeninės PAM tapo viena iš reikšmingų dispergentų klasių, rinkoje žinomų kaip proksanolai ir pliuronikai. Tokie blokiniai kopolimerai dažnai žymimi AB (diblokai) arba ABA (triblokai),

čia simboliu *A* žymimas hidrofilinis blokas (galva), pvz., toks kaip etilenoksidas (EO), o simboliu *B* – hidrofobinis blokas (propilenoksidas (PO) arba polistirenas (PS)). Rinkoje siūlomų kopolimerinių PAM EO/PO sudėtyje yra skirtingo grandinių ilgio homologų mišinių. PAM, kurių sudėtyje yra EO, priskiriamos hidratams, turintiems tris perteklines vandens molekules vienai EO grupei.

Spiritų amidai (etanolamidas ir dietanolamidas), alkilamidai, amino toksilatai, amino oksidai (esant neutraliam ir šarminiam pH) ir poliamidai – tai azoto pagrindo nejonogeninių PAM tipas.

Nors nejoniniai detergentai, kaip matyti iš jų pavadinimo, nėra elektrolitai, jų molekulėse, kaip ir kitų detergentų molekulėse, yra polinių ir nepolinių grupių. Nejoniniams detergentams priskiriami, pvz., tokie junginiai kaip



Jie sėkmingai konkuruoja su mažaisiais ir sintetiniais anijoniniais detergentais ir yra plačiai naudojami buityje, pavyzdžiui, langams ir automobilių stiklams plauti (detergentai, kurie džiovinant nusiplauna tik iš dalies, sudaro ploną plėvelę, kuri padeda nutekėti lašams), kaip insekticidai ir kaip detergentai, skirti automatinėms skalbyklėms.

Polimorfizmas

PAM struktūrose polimorfizmą galima apibrėžti kaip dviejų arba daugiau laisvos energijos minimumų koegzistavimą esant kietosios būsenos fazei. Šie minimumai byloja apie dviejų arba daugiau kristališkų kietųjų fazių koegzistavimą konkrečiomis termodinaminėmis sąlygomis. Kurį iš fazių stebėjime, priklauso nuo PAM pavyzdžio cheminės ir terminės būsenos, t. y. nuo kristalizavimosi sąlygų ir tolesnio terminio apdorojimo. Pagrindinis polimorfizmas skirstomas į polimorfizmą ir politipizmą. Šios siauresnės polimorfizmo formos polimorfai skiriasi struktūriniais celės vienetais. Savo ruožtu politipizmas apibrėžiamas kaip vienplokštumis polimorfizmas. Jis pasireiškia, kai yra įvairių laminarinių sluoksnių sanglaudų, kurių visi

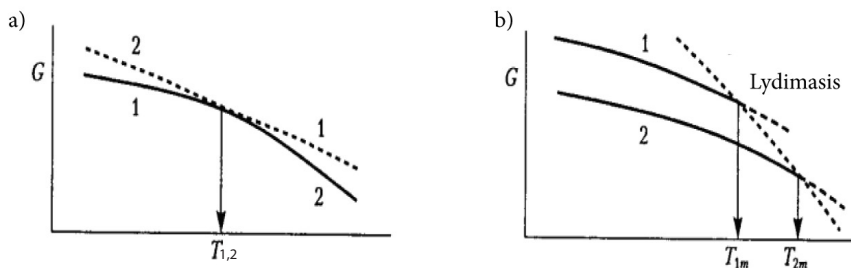
kiti rodikliai skirtingi, variantų, esant dviem ar daugiau celės struktūrinių vienetų duotosiomis termodinaminėmis sąlygomis.

Su kuriuo polimorfu susidūrėme, priklauso nuo mėginio cheminės sudėties ir terminio apdorojimo sąlygų, kristalizacijos ir tolesnio apkaitinimo. Jei amfifilinėse molekulėse yra angliavandenilinių grandinių, išsklaidymas, susijęs su šiomis grandinėmis, yra svarbus veiksnys analizuojant duomenis, gautus rentgenostruktūrinės analizės būdu ir elektroninės difrakcijos metodu.

Paprasčiausios enantiomorfinio polimorfizmo formos kristalinės PAM **pirmam** ir **antram** polimorfu pavaizduotos 7 pav., a. Laisvoji Gibso energija kiekvienam polimorfu pavaizduota temperatūros funkcijos forma. Šios kreivės susikerta taške $T_{1,2}$, esant temperatūrai, atitinkančiai grįžtamąjį kristalinės būsenos virsmą. Esant šiai temperatūrai polimorfas grįžtamai pereina arba į būseną **1**, arba į būseną **2**, t. y. temperatūrai padidėjus arba sumažėjus. Jei temperatūra viršija reikšmę $T_{1,2}$, polimorfas **1** yra *metastabilus* polimorfo **2** atžvilgiu. Dažnai tokie grįžtamieji virsmai **1–2** yra kinetiškai apsunkinti, esant temperatūrai $T_{1,2}$, ir yra *negrįžtami*, esant temperatūrai $T > T_{1,2}$. Jeigu dviejų polimorfų laisvųjų energijų kreivės *nesikerta* žemesnėje nei polimorfų **1** ir **2** lydimosi temperatūroje T_{1m} ir T_{2m} , tai reiškia, kad susidūrėme su monotropiniu polimorfizmu (7 pav., b). Jeigu $T < T_{2m}$, tuomet esant temperatūrai, viršijančiai tašką T_{1m} , polimorfas **1** lydomi ir resikristalizuoja polimorfo **2** forma.

Angliavandenilio grandinės PAM gali išsidėstyti įvairiais būdais, taip pat ir keičiantis polinkio kampams. Tokios variacijos grandinių sanglaudoje yra polimorfizmo PAM struktūrose varančioji jėga. Atsižvelgus į vadinamąsias struktūros subceles, variacijos buvo suskirstytos pagal kategorijas. Yra daugiau kaip šeši skirtingi subcelių tipai, kurių alkilinės grandinės gali atitinkamai sugulti, ir visos šios skirtingos sanglaudų formos tarpusavyje yra labai artimos laisvosios energijos požiūriu. Išsamiau tokios sanglaudos šioje knygoje nenagrinėjamos.

PAM fizikinė charakteristika yra būtina. Polimorfizmas tokios charakteristikos reikmėms gali būti naudingas, nes daugybinių lydimosi taškų, miltelių difrakcijos ir IK-spektrų palyginimas yra išsamesnis nei paprastas lydimosi temperatūrų nustatymas.



7 pav. Enantiotropinio (a) ir monotropinio (b) polimorfizmo iliustracija esant dviems polimorfams (1 ir 2). Santykinė laisvoji Gibso energija pavaizduota temperatūros T funkcija; $T_{1,2}$ – temperatūra, kuriai esant pirmas ir antras polimorfai turi vienodas laisvosios energijos reikšmes; T_{1m} ir T_{2m} – pirmo ir antro polimorfų lydimosi temperatūros

Pastaraisiais metais dėl plataus detergentų naudojimo kilo didelių putų kiekių kaupimosi drėkinamuosiuose tvenkiniuose ir upėse, t. y. vandenyse, į kuriuos išleidžiami panaudoti detergentai, pavojus. Tai savo ruožtu nulėmė detergentų putodaros ir detergentų biologinio skilimo gebos kontrolės problemą. Dėl šios priežasties rekomenduojama gaminti plaunamąsias priemones, kurių putodaros geba yra nedidelė ir kurių sudėtyje yra antiputokšlių. Paprastai muilai ir neišsišakoję sulfatai suskyla gan lengvai, o upės išsivalo savaime. Tokie detergentai yra mažiausiai pavojingi gyvūnijai. Pažymėtina, kad būtina vengti naudoti detergentus, kuriuose yra aromatinių junginių ir išsišakojusių grandinių.

Nesvarbu, kokia skystoji medžiaga ar plovimo technologija naudojama, tačiau būtina, kad valymo (plovimo) skystis, kontaktuodamas su teršalais ir užterštu paviršiumi, jį sudrėkintų. Kai ploviklis drėkina teršalus ir užterštą paviršių (θ yra labai mažas), jo sklaidimo koeficientą (f) išreiškiame tarpfazinių paviršiaus įtempimų rodikliais:

$$f = \sigma_{S,V} - \sigma_{L,V} - \sigma_{S,L}, \quad (31)$$

čia indeksais pažymėtos fazės: S – kietasis kūnas; V – dujos (oras); L – skystis.

Kai koeficiento reikšmė bus teigiama, galima tikėtis, kad ploviklis drėkins užterštus paviršius. Todėl reikalinga, kad $\sigma_{L,V}$ ir $\sigma_{S,L}$ kartu ar atskirai būtų kuo mažesni dydžiai; t. y. $\sigma_{S,V} > \sigma_{L,V} + \sigma_{S,L}$.

Neretai teršalai pasižymi kapiliarinėmis savybėmis. Kitaip sakant, jie yra poringi, dažnai koloidiniai kūnai. Tokiu atveju skysčių sklaidimą kapiliarais lemia viršslėgis (Δp), kurį išreiškiame apibendrinta Laplaso lygtimi:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \sigma_{L,V} \cdot \cos \theta}{r}, \quad (32)$$

čia: $\sigma_{L,V}$ – skysčio paviršiaus įtempimas, θ – drėkinimo kampas; r – kapiliaro skersmuo.

Reikia pažymėti, kad švarinimo mechanizmo aspektu tirpikliai ir plovikliai veikia skirtingai. Tirpiklis, drėkindamas teršalus, juos ištirpina. Todėl kietos teršalų dalelės pradžioje jame disperguojamos, o vėliau nusėda. Kai naudojamas TPP, plaunamąjį poveikį galima apibūdinti kaip procesą, kurio metu teršalai yra emulguojami (skystos, netirpstančios ploviklyje dalelės). Šiuo atveju plovimo procesą iš esmės lemia PAM, kurios orientuotai adsorbuojasi ant teršalų dalelių paviršiaus, jas suskaidydamos. Tik labai didelės ir sunkios kietųjų medžiagų dalelės vėliau nusėda ploviklyje. Plovimo efektas priklauso nuo detergento (paprastai PAM) koncentracijos vandenyje, jo cheminės sudėties, ploviklio temperatūros, vandens kietumo ir kt. Maišymas plaunant skatina švarinimo intensyvumą.

Jeigu PAM tirpsta organiniame tirpiklyje ir naudosime jų mišinį, švarinimo mechanizmas bus kombinuotas. Priklausomai nuo švarinimo mechanizmo yra skiriamos trys ploviklių klasės:

1. Sintetinės plovimo priemonės (SPP), pavyzdžiui, ML – 52, KM – 1, MS – 15, Labomidas 203, Tempas – 100, Vertalinas – 74, Istra – 1 ir t. t., gerai tirpstančios vandenyje. Tai vadinamosios anijoninio ar katijoninio tipo PAM, kurių rekomenduojama koncentracija nuo 2–3 iki 25–50 kg/m³ priklausomai nuo užteršimo laipsnio. Rekomenduojama darbinė ploviklio temperatūra 323–360 K.

2. Tirpinančios emulguojančios priemonės (TEP), pavyzdžiui ML – 40, Ritmas, Labomidas 315 ir kt. Tai analogiškų rūšių detergentų tirpalai chlorintuose angliavandeniliuose.
3. Tirpikliai. Tai chloro ar fluoro angliavandeniliai, pavyzdžiui, trichloretilenas, chlormetilenas, freonai.

Paviršių švarinimo procesui naudojama speciali įranga, kuri pagal ploviklio naudojimo būdą skirstoma taip:

- 1) aparatai, kai plaunama pamerkiant detales;
- 2) agregatai, kai ploviklis purškiamas čiurkšlėmis;
- 3) aparatai, kai plaunant papildomai intensyviai naudojamas ultragarsas;
- 4) agregatai, kai švarinama tirpiklių garuose.

Svarbiausias rodiklis, reikalingas plovikliui ir įrangai parinkti, yra švarinimo intensyvumas. Jį galima apskaičiuoti taip:

$$j = \Delta m^* / S\tau, \quad (33)$$

čia: j – švarinimo intensyvumas $\text{kg/m}^2\text{s}$; Δm^* – teršalų masė, perėjusi į ploviklį kg ; S – bandinio paviršius m^2 ; τ – plovimo trukmė s .

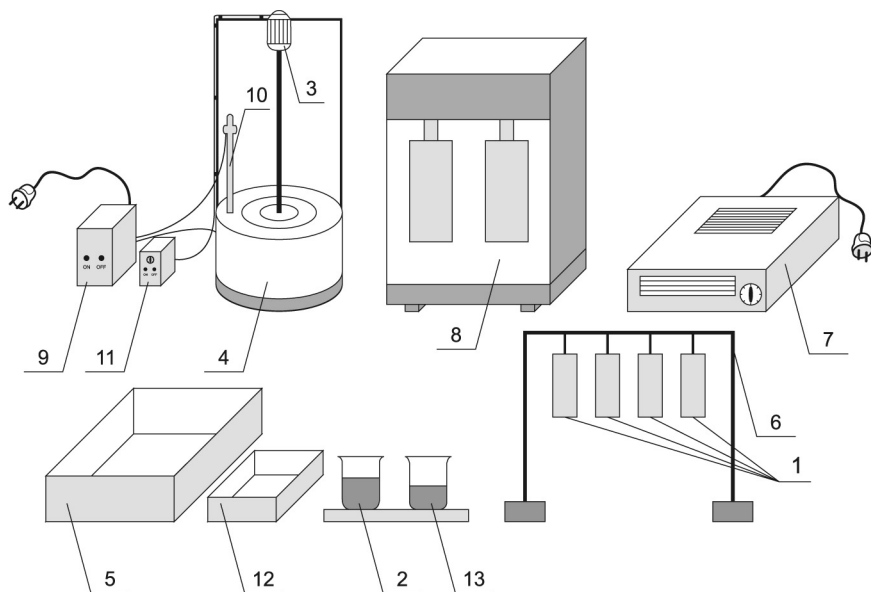
Taikydami tokį rodiklį nustatome būtiną švarinimo proceso trukmę.

Naudojami prietaisai ir darbo principai

Įrangos, naudojamos bandymams atlikti, principinė schema parodyta 8 paveiksle. Bandiniai (1) švarinami vonioje (4) plovikliu, kuris maišomas elektrine maišykle (3).

Išplovus, bandiniai įdedami į perplovimo (skalavimo) tekančiu vandeniui vonią (5). Vėliau bandiniai sukabinami ant stovo (6) ir džiovinami elektriniu džiovintuvu (7). Bandinio masę prieš bandymus ir atlikus bandymus nustatome sverdami svarstyklėmis (8) **(2 priedas)**.

Per bandymus išmatuojame ir apskaičiuojame užteršto bandinio paviršiaus plotą ir jo masę. Bandinius švariname laipsniškai, o švarumo laipsnį nustatome sverdami juos.



8 pav. Įrangos, naudojamos bandymams atlikti, principinė schema:

- 1 – bandiniai; 2 – indas su detergentu; 3 – maišyklė; 4 – vonia-termostatas;
 5 – praplovimo vonia; 6 – bandinių stovas; 7 – elektrinis džiovintuvas;
 8 – svarstyklės; 9 – termoreguliatorius; 10 – kontaktinis termometras;
 11 – maišyklės apskukų reguliatorius; 12 – vonelė su kietais teršalais;
 13 – indas su skystais teršalais

Užduotys

1. Pagilinti teorines žinias.
2. Atlikti bandymus, valant užterštus paviršius TPP, ir apdoroti eksperimento duomenis.
3. Pateikti gautų rezultatų išvadas ir pasiūlyti, kaip pagerinti plovimo efektyvumą.

Darbo atlikimo tvarka

1. Susipažinti su laboratorinio darbo įranga, darbo ir gaisrinės saugos reikalavimais.

2. Gauti darbo užduotį, paruošti ploviklį ir jį termostatuoti vonioje (4), įjungiant termoreguliatorių (9) ir maišyklę (11).
3. Išmatuoti neužterštų bandinių paviršių bei nustatyti jų pradinę masę ir duomenis užrašyti darbo žurnale.
4. Nurodytais teršalais tolygiai padengti bandinių paviršius ir nustatyti užterštų bandinių masę.
5. Bandinius įdėti į vonią (4) ir švarinti nustatytą laiką esant nurodytai temperatūrai.
6. Po pirmo nustatymo plovimo laiko bandinius perkelti į plovimo vonią (5) ir ten išlaikyti reikiamą laiką.
7. Bandinius sukabinti ant stovo (6) ir išdžiovinti elektriniu džiovintuvu (7), paskui pasverti svarstyklėmis (8).
8. Gautus rezultatus apskaičiuoti po kiekvieno švarinimo etapo.
9. Aprašyti darbo išvadas.

Darbo ir gaisrinės saugos reikalavimai

1. Pradinį paruošiamąjį bandinių paviršiaus švarinimą organiniu tirpikliu atlikti traukos spintoje.
2. Atsargiai elgtis su detergentu. Patekus jam ant odos, nedelsiant nuplauti vandeniu.

Kontroliniai klausimai

1. Charakterizuokite valymo procesą.
2. Kokius žinote medžiagų švarinimo būdus ir priemones?
3. Apibūdinkite teorines švarinimo prielaidas.
4. Kaip skirstomi plovikliai pagal švarinimo mechanizmą?
5. Kaip skirstoma įranga pagal ploviklio naudojimo būdą?
6. Apibūdinkite švarinimo proceso intensyvumo rodiklį.
7. Kokia laboratorinio darbo atlikimo esmė?

4 laboratorinio darbo atskaita

Teršalų rūšis _____

TPP pavadinimas _____

TPP vandens tirpalo koncentracija kg/m^3 _____

Švarinimo temperatūra K _____

Švarinimo etapų trukmė s _____

Kiti užduoties reikalavimai _____

4.1 lentelė. Eksperimentiniai duomenys ir skaičiavimo rezultatai

Eil. Nr.	Rodikliai, charakterizuojantys švarinimo procesą	Bandinio Nr.						
		1	2	3	–	–	–	i
1	Bandinio paviršius S , m^2							
2	Švaraus bandinio masė m_1 , g							
3	Užteršto bandinio pradinė masė m_2 , g							
4	Užteršto bandinio masė po pirmo švarinimo etapo m_3 , g							
5	Teršalų, perėjusių į ploviklį, masė Δm^* , g							
6	Teršalų, likusių ant bandinio, masė Δm , g							
7	Švarinimo intensyvumas j_i , $\text{kg/m}^2\text{s}$							
8	Antrojo švarinimo proceso trukmė τ_2 , s							

Pastaba: vidutinę švarinimo intensyvumo reikšmę apskaičiuoti taip:

$$j_{vid.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n j_i, \quad (34)$$

čia n – bandinių skaičius.

Antrojo švarinimo proceso reikšmę apskaičiuojame taip:

$$\tau_2 = K_p \cdot \frac{\Delta m}{j_{vid.} \cdot S}, \quad (35)$$

čia: K_p – patikimumo koeficientas, lygus 1,5; Δm – teršalų, likusių ant bandinio, masė, g.

1. Eksperimentinių ir apskaičiuotų duomenų rezultatai.
2. Išvados ir pasiūlymai.

5. Technologinių procesų temperatūros kontrolė matavimo prietaisais ir termoindikatoriais

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 normaliam technologiniame procese pakyla darbinio agento (dujų, skysčio, lydalo) temperatūra, pakinta ne tik proceso greitis, bet dažnai išskyla 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 vašku 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.

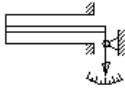
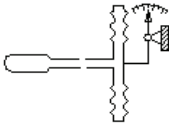
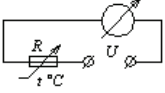
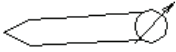
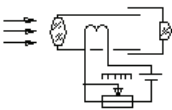
Analogiškai, viršijant ribinę temperatūrą, pakinta lydalų ar skystųjų kristalų spalva, o liuminoforai paprastai pradeda intensyviai švytėti.

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
Bimetalo	Bimetalo 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. Vykdam technologinės įrangos profilaktinius temperatūrų matavimus, patogiausia ir tikslingiausia 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:

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t), \quad (36)$$

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 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ skysčių ir dujų temperatūrą aviaciniuose elektriniuose varžiniuose termometruose, naudojamas nikelio laidas. Jo didelė santykinė varža ($0,12 \cdot 10^{-6}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$) 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:

$$\alpha_k = \alpha \frac{R_0}{R_0 + R_m}. \quad (37)$$

Iš formulės (37) 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:

$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (38)$$

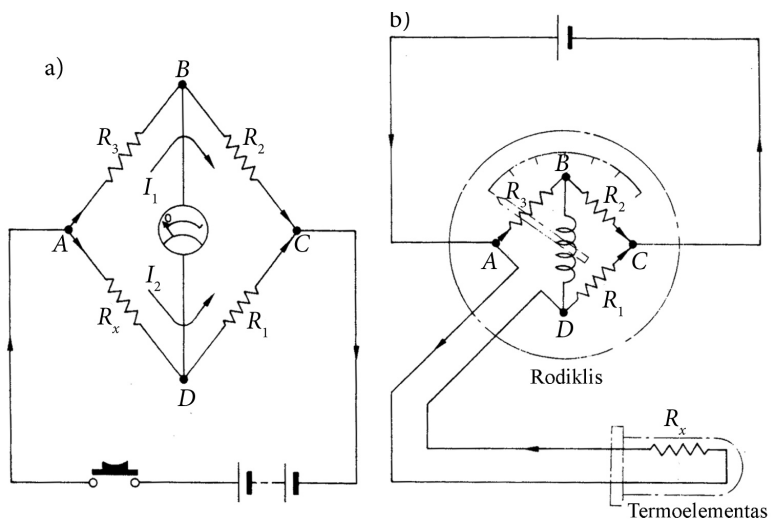
čia: T – absoliučioji termodinaminė temperatūra; A ir B – koeficientai, priklausantys nuo TE medžiagos ir matmenų.

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.

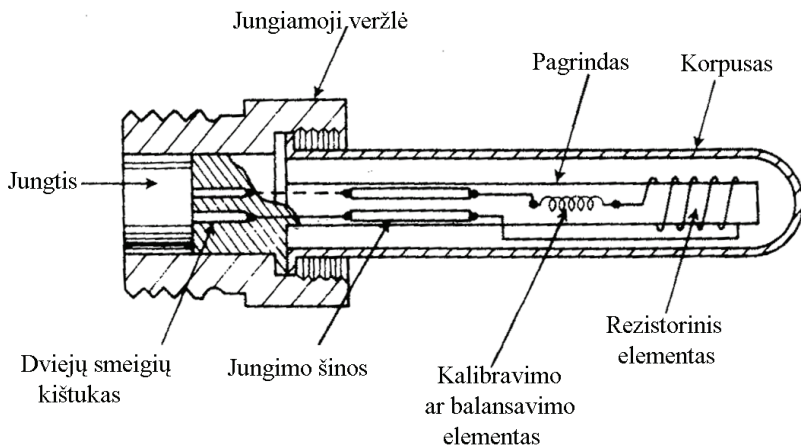
TE varža R_x , kintant temperatūrai t° , matuojama dvigubu pastoviosios srovės tilteliu, kurio elektrinė schema pateikta 9 pav., a, jungiant į tiltelio įstrižainę magnetinį elektrinį santykio matuoklį – logometrą, kuris atlieka temperatūros matavimų rodiklio funkciją, nes tiltelio srovės, tekančios santykio matuoklio ritėmis, priklauso nuo TE temperatūros.

TE, įmontuotas į specialų korpusą, tampa termometro davikliu (TD) (10 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 $\pm 2^\circ\text{C}$.



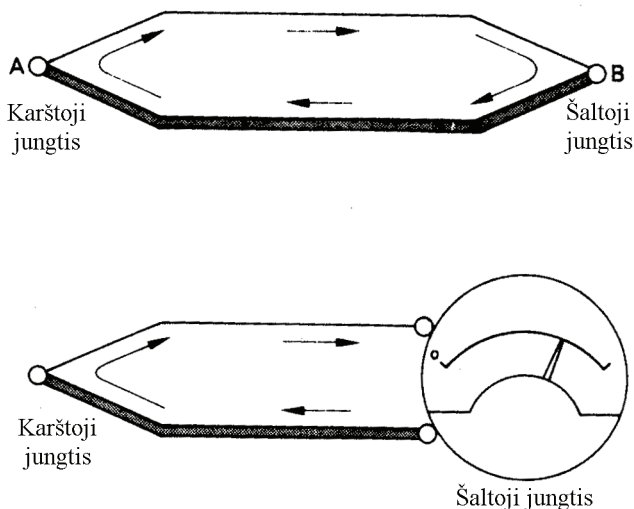
9 pav. Varžo termometro elektrinė schema: a) principinė matavimų schema; b) termometro elektrinė schema



10 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) (11 pav.).

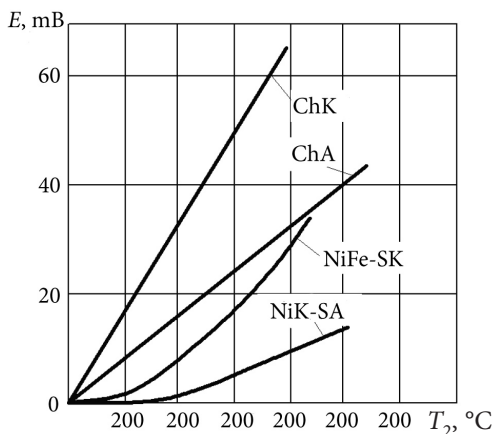


11 pav. Termoporos principas

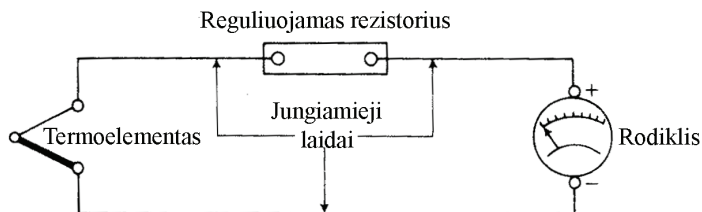
Laidininkų jungtis, besiliečianti su įkaitusiais objektais, vadinama *karštąja* jungtimi, o priešinga – *šaltąja*, arba laisvąja jungtimi. Teigiamuoju (arba pirmuoju) termoporos šaltosios jungties elektrodu laikomas tas, nuo kurio teka terminės EVJ sukelta srovė.

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 (12 pav.).

Termoelektriniai termometrai sudaromi iš vieno ar daugiau TE ir temperatūros rodiklio (13 pav.).



12 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



13 pav. Termoelektrinio termometro principinė schema

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 pastoviajai 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.

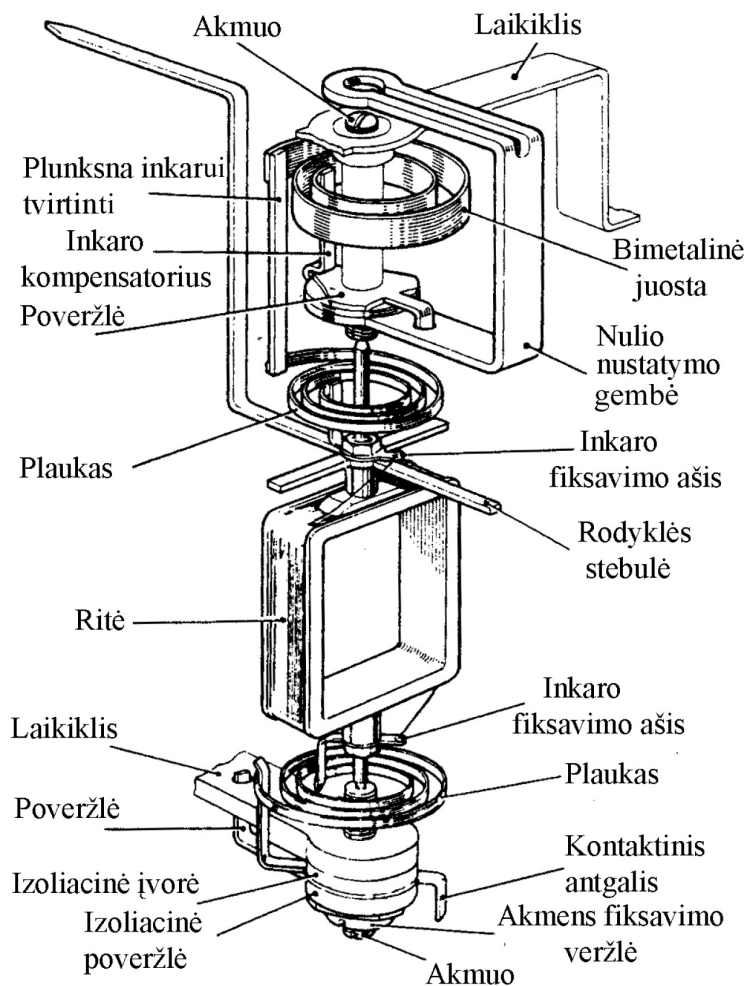
Elektrinių varžinių termometrų rodmenų papildoma metodinė paklaida atsiranda todėl, kad TE papildomai šyla nuo srovės, pratekančios pro jį matuojant. Paklaidos kitimui įtakos turi ir maitinimo įtampos nepastovumas.

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 nevisiško dujų srauto sustabdymo. Termoporų šaltosios jungties temperatūrų pokyčių įtakai sumažinti naudojami *bimetaliniai* temperatūros paklaidų korektoriai. Deformuodamiesi jie įtempia ir atleidžia milivoltmetro atotampos spyruokles (14 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.

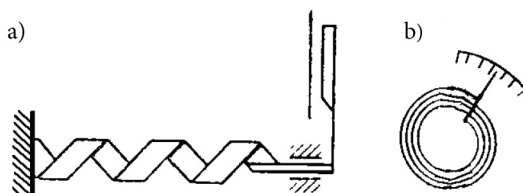


14 pav. Šaltosios jungties temperatūros pokyčių bimetalinis kompensatorius

Termometrų, kuriuose taikomas kompensacinis terminės EVJ matavimo būdas (14 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 (15 pav.).



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

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

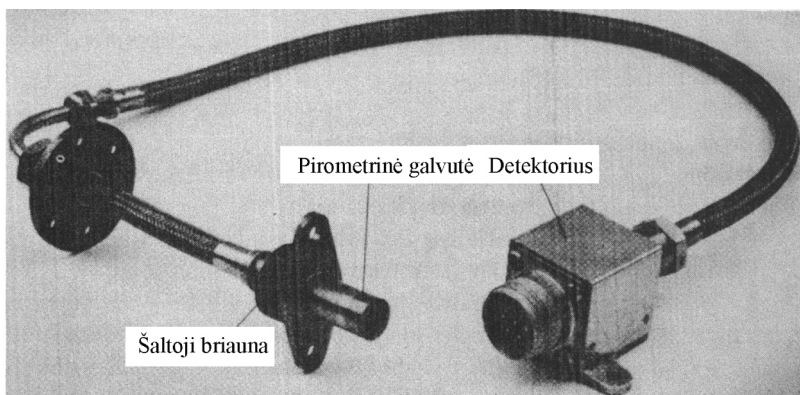
Bimetaliniai termometrai aviacijoje naudojami oro temperatūrai matuoti įgulos kabinoje, išorinio oro temperatūrai matuoti už sraigtasparnių borto arba atlieka daviklių funkcijas temperatūros reguliavimo sistemoje. Bimetaliniais termometrais matuojamos temperatūros svyruoja nuo $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$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

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 tokią 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 16 pav.



16 pav. Pirometras

Naudojami prietaisai ir darbo principai

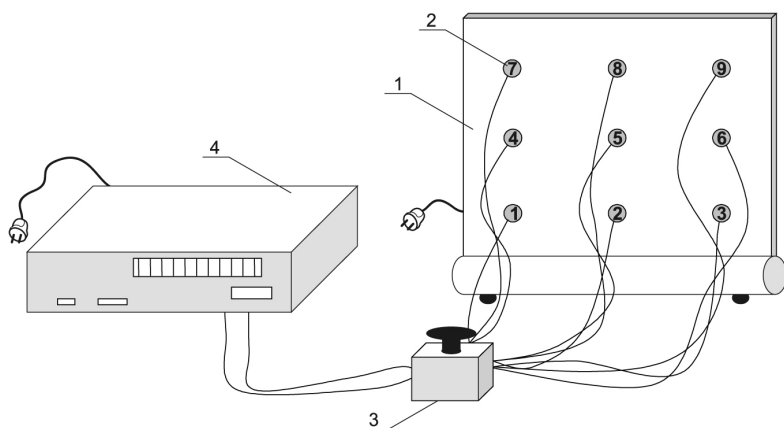
Bandymams atlikti naudojama įranga, kurios principinė schema parodyta 17 paveiksle. Ji susideda iš reguliuojamo šildymo elemento (1), kurio įvairiose

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.

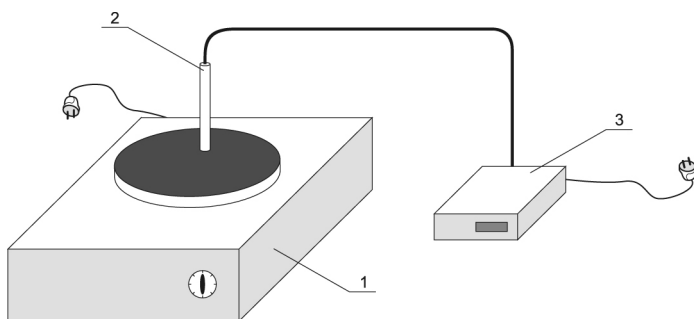
Temperatūra nustatoma atskiruose šildymo elemento paviršiaus taškuose, suskirstytuose į tris grupes. Pirmajai grupei priskiriami taškai 1, 2, 3. Antrajai – 4, 5, 6. Trečiajai – 7, 8, 9. Kokios grupės taškuose įvertinti temperatūrą, nurodo dėstytojas.

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.



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

Termoindikatorinių pieštukų (dažų), juostelės ar bekontaktio termometro temperatūrinio poveikio efektyvumui įvertinti naudojame įrangą, kurios principinė schema parodyta 18 paveiksle. Ji susideda iš elektros plytelės (1), termoelektrinio keitiklio (2) ir elektroninio termometro (3).



18 pav. Įrangos schema: 1 – elektros plytelė; 2 – termoelektrinis keitiklis; 3 – elektroninis termometras

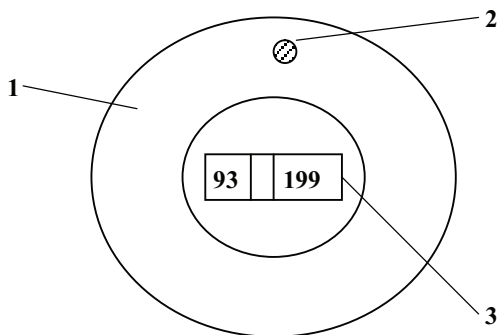
Bandymų esmė yra tokia. Termointiktoriniu pieštuku (dažais) lokaliai užtepame plėvelę ant plėvelės. Įjungiamo elektroninį termometrą (3) ir leidžiame jam įšilti. Paskui įjungiamo elektros plytelę (1). Vykstant bandymams stebime, kokiai temperatūrai esant pakis plėvelės spalva. Sulyginame faktinę ir nurodytą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

Termointiktorinių juostelių temperatūrinio poveikio efektyvumui įvertinti naudojame tą pačią įrangą, kurios principinė schema parodyta 18 paveiksle. Bandymų esmė yra tokia. Termointiktorių (mėlynos spalvos juostelė su sidabrinės spalvos kvadratėliu juostelės viduryje) atskirti nuo pagrindo (baltos spalvos juostelė) ir užklijuoti elektros plytelės paviršiaus centre, kaip parodyta 19 paveiksle.

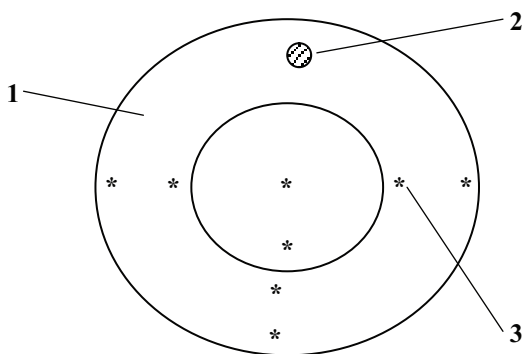
Skaičiai termointiktoriaus mėlyname fone rodo termointiktoriaus normatyvines spalvos pokyčio temperatūras. Mažesnis skaičius – temperatūrą Celsijaus skalėje, didesnis – Farenheito skalėje. Kada kaitinamas paviršius pasiekia šias arba joms artimas temperatūras, termointiktoriaus sidabrinės spalvos kvadratėlio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

Bekontakčio termometro IR-8839 temperatūrinio poveikio efektyvumui įvertinti naudojame tą pačią įrangą, kurios principinė schema parodyta 18 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 20 paveiksle. Matuojant temperatūras, bekontaktį termometrą laikyti 10–15 cm atstumu nuo elektros plytelės paviršiaus. Fiksuoti temperatūros vertes vadovaujantis termometro naudojimosi instrukcija.



19 pav. Termoindikatorinės juostelės padėtis elektros plytelės paviršiuje:
1 – elektros plytelės paviršius; 2 – termoelektrinis keitiklis;
3 – termoindikatorinė juostelė



20 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 termoindikatorius, 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 (17 pav.) bei elektroninį termometrą 3 (18 pav.) ir leisti jiems įšilti. Gauti iš darbo vadovo konkrečią užduotį bei termoindikatorinį pieštuką (dažus) arba termoindikatorinę juostelę ir bekontaktį termometrą.
3. Nustatyti paeiliui, naudojantis perjungikliu 3 (17 pav.), pradinius termorezistorių 2 (17 pav.) bei termodaviklio 2 (18 pav.) rodmenis ir juos fiksuoti žurnale.
4. Ant elektros plytelės 1 (18 pav.) dėstytojo nurodytoje vietoje uždažyti termoindikatoriniu pieštuku (dažais) ar priklijuoti ant elektros plytelės termoindikatorinę juostelę, kaip parodyta 19 paveiksle.
5. Įjungti šildymo elementą 1 (17 pav.) ir elektros plytelę 1 (18 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 (18 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 20 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 sprogdimo pavojaus aspektu.
2. Kokios priemonės yra naudojamos temperatūros kontrolei? Jų veikimo principai.
3. Kokių 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:

$$\theta = \frac{100 \cdot (T_n - T_f)}{T_f} \%, \quad (39)$$

čia: T_n – termindikatoriaus normatyvinė spalvos pokyčio temperatūra °C;
 T_f – faktinė temperatūra pagal elektroninio termometro ar bekontakčio termometro rodmenį °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 °C		
	1	2	i	1	2	i
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
8						
10						

3. Išvados apie gautus bandymo rezultatus.

6. Aparatų apsauga membranomis nuo suardymo įvykus sprogimui

Darbo tikslas

1. Įtvirtinti teorines žinias.
2. Įvaldyti pagrindinių rodiklių, apibūdinančių apsauginius membranineius įtaisus, eksperimentinio apibrėžimo metodiką ir įgūdžius.

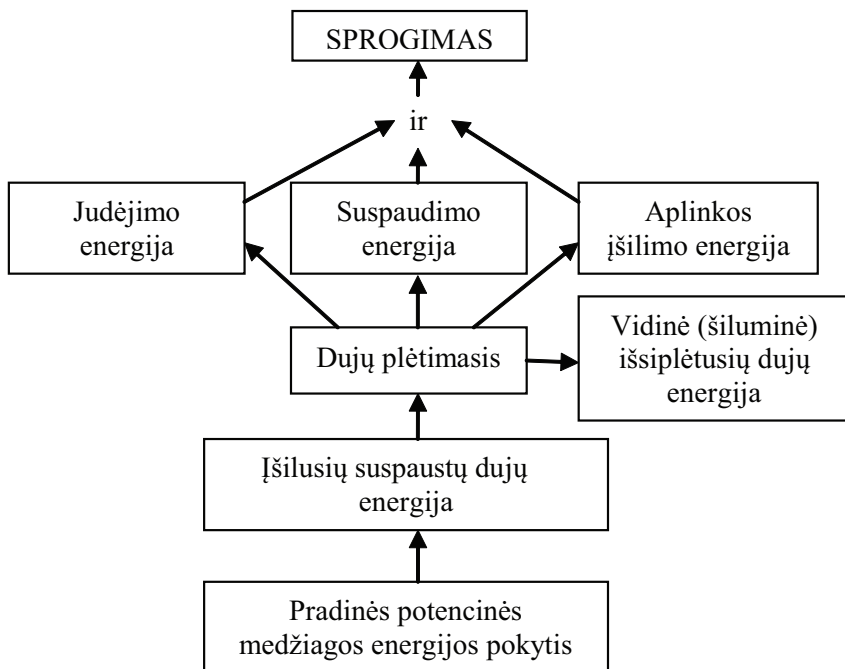
Teorinė dalis

Sprogimas suvokiamas kaip reiškinys, susijęs su staigiu medžiagos būklės pakitimu, lydymu stipraus garso ir greito energijos išsiskyrimo, kurie sudaro sąlygas sprogimo produktams ir aplinkai išilti, judėti ir trauktis. Sprogimo srityje padidėjus slėgiui, aplinkoje susidaro smūginė banga, pasižyminti stipriu naikinamuoju poveikiu.

Kilus sprogimui, medžiagos pradinė potencinė energija dažniausiai virsta suspaustų įšilusių dujų energija, kuri, šioms plečiantis, virsta aplinkos judėjimo, suspaudimo ir įšilimo energija. Dalis energijos išlieka išsiplėtusių dujų vidine (šilumine) energija (21 pav.).

Per sprogimą išsiskyrusios energijos kiekis nulemia bendrą suniokojimų dydį (tūrius, pločius). Energijos koncentracija (energija tūrio vienetu) nulemia suniokojimų sprogimo židinyje intensyvumą.

Šios savybės priklauso nuo greičio, per kurį sprogi sistema išlaisvina energiją (žr. 6.1 lentelę) ir kuris nulemia naikinamosios arba griauamosios smūginės bangos susidarymą.



21 pav. Energijos pokytis įvykus sprogimui

6.1 lentelėje lyginami trys atvejai: kondensuotos sprogiosios medžiagos detonacija, dujų sprogimas ir liepsnos plitimas. Lentelės duomenys taikomi kubo, kurio kraštai yra 1 m, formos medžiagos tūriui, darant prielaidą, kad reakcija kyla vienoje sienų.

Pagal pateiktą schemą (22 pav.) sprogimus, dažniausiai sutinkamus tyrimų praktikoje, galima suskirstyti į dvi pagrindines grupes: cheminius ir fizinius.

Prie cheminių sprogimų priskiriami medžiagos cheminio kitimo procesai, kurie pasireiškia kaip degimas ir pasižymi šiluminės energijos išsiskyrimu per trumpą laiką ir tokio kiekio, kad susidaro slėgio bangos, plintančios nuo sprogimo šaltinio.

6.1 lentelė. Sprogimo pokyčių energetika

Sprogstamojo proceso tipas	Masė kg	Energijos išsiskyrimas		Pokyčio greitis m/s	Perteklinio slėgio maksimumas bar
		J/kg	J/m ³		
Trinitrotoluolo (TNT) sproginimas	1650	$4,23 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^9$	$7 \cdot 10^3$	10^5
Metano debesies sproginimas	1,2*	–	$3,3 \cdot 10^6$	333	6
Metano debesies degimas (nespartinant reakcijos)	1,2*	–	$3,3 \cdot 10^6$	0,45	–

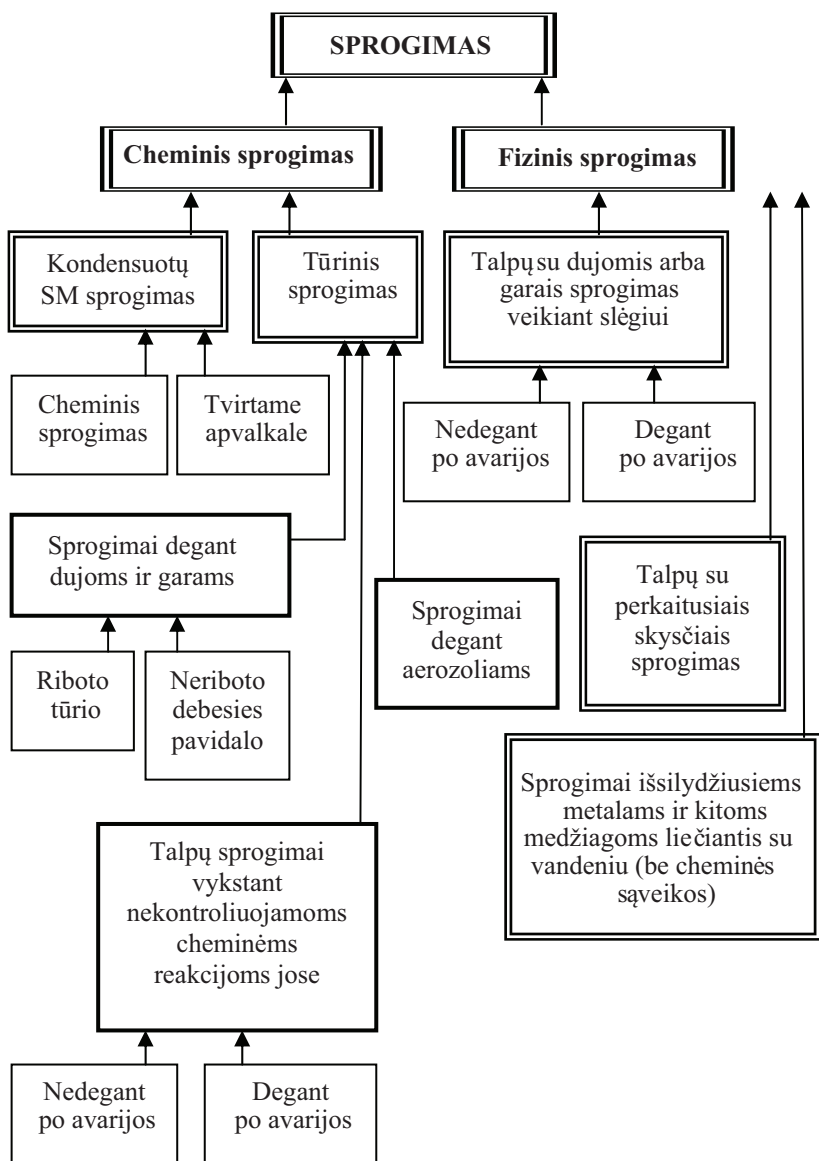
*Stechiometrinio mišinio masė

Prie fizinių sprogimų priskiriami procesai, sudarantys sąlygas sproginimui kilti ir nesusiję su cheminiu medžiagos kitimu.

Atsitiktiniai sproginimai dažniausiai kyla dėl degimo procesų, todėl į duomenis apie jų būdingas savybes būtina ypač kruopščiai atsižvelgti analizuojant įvykį, susijusį su cheminiu sproginimu. Tokio pobūdžio sproginimai dažniausiai vyksta saugant, gabenant ir gaminant sprogiąsias medžiagas (SM). Jie kyla dirbant su SM ir sprogiomis medžiagomis* chemijos ir naftos chemijos pramonės srityse, esant gamtinių dujų nuotėkiams gyvenamuosiuose namuose; gaminant, gabenant ir saugant itin lakias arba suskystintas degiąsias medžiagas; plaunant skystųjų degalų saugojimo rezervuarus; gaminant, saugant ir naudojant degiąsias dulkių sistemas ir kai kurias savaime užsiliepsnojančias kietąsias ir skystąsias medžiagas**.

* Sprogiosios medžiagos skiriasi nuo sprogių tuo, kad jų sudėtyje yra užtektinas tam tikrų funkcinių grupių, galinčių sukelti sprogiuosius cheminius pokyčius nesant oro deguonies, santykis. Sprogiąjam sprogių medžiagų kitimo procesui prasidėti būtinas oro deguonis.

** Sproginimai chemijos gamyklose, grūdų elevatoriuose ir kitose įmonėse, susijusiose su sprogiomis medžiagomis (garais, dujomis, dulkėmis ir pluoštais), sudaro apie 2–3 proc. visų per metus įvykstančių atvejų pramonės srityje. Kita vertus, jie plačiai pagarsėja dėl didelės materialinės žalos ir aukų skaičiaus.



22 pav. Dažniausiai sutinkamų sprogimų schema (neįskaitant mišriųjų)

Cheminio sproginimo savybės

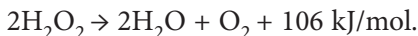
Esama dviejų pagrindinių sproginimų tipų: kondensuotos SM sproginimo ir tūrinio sproginimo (garų, dulkių ir dujų mišinių (čia priskiriami ir skystųjų aerozolių sproginimai) sproginimo).

Kondensuotų SM sproginimai sukeliami visų kietųjų SM ir palyginti nedidelio kiekio skystųjų SM, įskaitant nitrogliceriną. Dažniausiai tokių SM tankis yra 1300–1800 kg/m³, tačiau pradinių SM, turinčių švino arba gyvsidabrio, tankis yra žymiai didesnis.

Pagal cheminių reakcijų tipus galima klasifikuoti ir sproginimus.

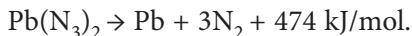
Irimo reakcijos

Paprasčiausias sproginimo atvejis – irimo procesas susidarant dujiniams produktams. Pavyzdžiai: vandenilio peroksido irimas, kai yra didelis šiluminis efektas, susidarant vandens dujomis ir deguoniui:



Pavojinga vandenilio peroksido koncentracija yra 60 proc.

Irimas trinantis arba susidūrus švino azidui:



Trinitrotoluolo (TNT) irimas.

TNT yra medžiaga, turinti „deguonies deficitą“, ir todėl vienas iš pagrindinių jo irimo produktų yra anglis, tai sudaro prielaidą susidaryti dūmams sproguos TNT.

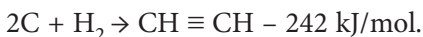
Medžiagos, linkusios irti dėl sproginimo, beveik visada turi vieną arba keletą būdingų cheminių struktūrų, atsakingų už staigų proceso vystymąsi išsiskiriant dideliu energijos kiekiui.

Šios struktūros yra tokios:

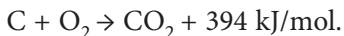
1. $-\text{NO}_2$ ir $-\text{NO}_3$ organinėse ir neorganinėse medžiagose;
2. $-\text{N} = \text{N} = \text{N}$ – organiniuose ir neorganiniuose aziduose;
3. $-\text{NX}_2$; X – haloidas;
4. $-\text{N} \equiv \text{C}$ – fulminatuose;

5. $-\text{OClO}_2$ ir $-\text{OClO}_3$ – neorganiniuose ir organiniuose chloratuose ir perchloratuose atitinkamai;
6. $-\text{O}-\text{O}$ ir $-\text{O}-\text{O}-$ neorganiniuose ir organiniuose peroksiduose ir ozoniduose atitinkamai;
7. $-\text{C}\equiv\text{C}$ – acetilene ir metalacetileniduose;
8. $\text{M}-\text{C}$, metalo atomas $-\text{M}$ susijęs su anglimi įvairiose metalorganinėse jungtyse.

Pagal termochemijos dėsnius galima išskirti jungtis, kurių irimo procesas gali būti sprogus. Vienas iš lemiamų sistemos pavojingumo veiksnių yra jos vidinės energijos pradinės būklės dominavimas lyginant su galine būkle. Tokia sąlyga vykdoma sugeriant šilumą (endoterminė reakcija), kai susidaro medžiaga. Tokio proceso pavyzdys yra acetileno susidarymas iš elementų



Prie nesprogiųjų medžiagų, kurios susidarydamos netenka šilumos (egzoterminė reakcija), priskiriamas, pavyzdžiui, anglies dioksidas



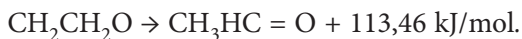
Reikia atsižvelgti į tai, kad termochemijos dėsnių taikymas leidžia tik atskleisti sprogimo proceso galimybę. Tai, ar sproginas įvyks, priklauso nuo reakcijos ir lakių medžiagų susidarymo greičio. Taip, pavyzdžiui, žvakės parafino reakcija su deguonimi, nepaisant didelio egzotermiškumo laipsnio, nesukels sprogimo dėl nedidelio reakcijos greičio. Reakcija $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$, nepaisant didelio egzotermiškumo laipsnio, nesukels sprogimo, nes nesusidaro dujinių produktų.

Oksidacinės atkuriamosios reakcijos, sudarančios degimo reakcijų pagrindą, dėl nurodytos priežasties gali sukelti sprogimą tik sąlygomis, palankiomis dideliu reakcijos greičiui susidaryti ir slėgiui kilti. Degant stipriai disperguotoms kietosioms medžiagoms ir skysčiams uždaro tūrio sąlygomis perteklinis slėgis gali padidėti net iki 8 barų.

Palyginti nedideli aerozolių sproginai kyla ne itin retai, pavyzdžiui, skystojo oro sistemose, kur aerosolis yra aliejaus lašelių rūko pavidalo.

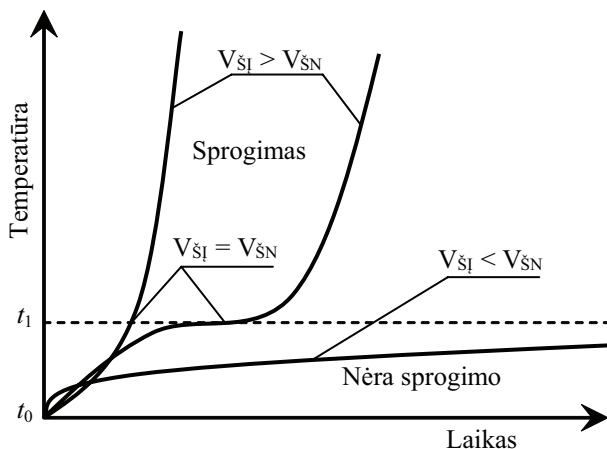
Polimerizacijos, izomerizacijos ir kondensacijos reakcijos

Esant polimerizacijos reakcijoms, lydymoms egzoterminio efekto, ir lakiajam monomerui, dažnai pasiekama stadija, kai gali pavojingai padidėti slėgis. Kai kurioms medžiagoms, tokioms kaip etileno oksidas, polimerizacija gali prasidėti esant kambario temperatūrai, ypač kai pradinės jungtys užteršiamos medžiagomis, spartinančiomis polimerizacijos procesą. Etileno oksidas taip pat gali izomerizuotis į acetaldehidą egzoterminiu būdu:



Kondensacijos reakcijos yra gana dažnos. Ypač jos plačiai taikomos gaminant dažus, lakus ir dervas ir dėl egzoterminių procesų bei lakiųjų sudedamųjų medžiagų sukelia sprogius.

Bendroms sąlygoms, sukeliančioms degimą, pereinantį į sprogią, nustatyti padeda grafikas (23 pav.), vaizduojantis, kaip temperatūra, pasiekama degiojoje sistemoje, priklauso nuo laiko, kai sistemoje dėl cheminės reakcijos ir šilumos nuostolių vyksta tūrinis šilumos išsiskyrimas.



23 pav. Kreivės, vaizduojančios, kaip temperatūra, pasiekama degiojoje sistemoje, priklauso nuo laiko, kai sistemoje dėl cheminės reakcijos ir šilumos nuostolių vyksta tūrinis šilumos išsiskyrimas: $V_{\text{šI}}$ – šilumos išsiskyrimo greitis; $V_{\text{šN}}$ – šilumos nuostolių greitis

Jei įsivaizduosime temperatūrą kaip kritinį tašką, kuriam esant sistemoje kyla degimas, tampa akivaizdu, kad kai šilumos nuostolių yra daugiau už gaunamą šilumą, degimas yra neįmanomas. Šis procesas prasideda tik tada, kai šilumos išsiskyrimo greitis yra lygus šilumos nuostolių greičiui (atitinkamų kreivių susikirtimo taške) ir toliau gali greitėti kylant temperatūrai ir slėgiui iki pat sprogo.

Taigi esant sąlygoms, palankioms šilumos izoliacijai, egzoterminė reakcija degiojoje sistemoje gali sukelti ne tik degimą, bet ir sprogo.

Kylančios nekontroliuojamos reakcijos, sudarančios prielaidas sprogiui, nulemtos to, kad šilumos perdavimo, pavyzdžiui, induose greitis yra temperatūrų skirtumo tarp reakcinės masės ir aušiklio linijinė funkcija, o egzoterminės reakcijos greitis ir kartu šilumos antplūdis nuo jos kyla pagal laipsninį dėsnį, didėjant pradinėms reagentų koncentracijoms, ir greitai kyla, didėjant temperatūrai dėl cheminės reakcijos greičio eksponentinės priklausomybės nuo temperatūros (Arenijaus dėsnis). Šie dėsniniai nulemia mažiausius mišinio degimo greičius ir temperatūrą ties apatine liepsnos plitimo koncentracine riba (C_A). Degalų ir oksidatoriaus koncentracijoms artėjant prie stochiometrinių, degimo greitis ir temperatūra padidėja iki didžiausių reikšmių.

Užsidegus daugeliui permaišytų dujų, garų ir oro mišinių, liepsna pradiniam šviežiam mišinyje plinta palyginti lėtai, vos keletą metrų per sekundę (**8 priedas**). Toks laminarinis degimas vadinamas deflagracija arba pliūpsniu. Šio degimo, kurio reakcijos frontas dėl šilumos laidumo ir konvekcijos slenka per degujį skystį nuo sudegusių dujų link nesudegusių, bangoje, kuri pati save palaiko, nedidėja slėgis, nulemtas spartėjančios reakcijos. Šiuo atveju uždaramame tūryje slėgis didėja tolygiai per visą erdvę ir dažniausiai yra sukeliamas didėjančios jame temperatūros. Toks vidutinio slėgio didėjimas tipiniams anglies vandenilio ir oro mišiniams siekia 0,6–0,8 MPa, o tai uždaro tūrio sąlygomis gali sunaikinti degimo židinį atitveriančias vientisas konstrukcijas.

Deflagracija (pliūpsnis) gali simetriškai plisti į visas puses nuo užsiliepsnojimo šaltinio. Ji pasižymi, kaip jau buvo nurodyta, žemos slėgio bangos, kuri neturi smogiamojo poveikio, susidarymu. Pagal tai, kaip vystosi slėgis, galima nustatyti pliūpsnio kilimo vietą. Kokybiniai objekto

pokyčiai nuo šios vietos dažniausiai vyksta veikiami šilumos. Dėl palyginti lėto degimo fronto plitimo temperatūra patalpoje, kurioje įvyko pliūpsnis, išsilaiko gana ilgai, dėl to vyksta pastebimi medžiagų savybių cheminiai pokyčiai.

Skiriamos bendrojo (fugasinio) ir brizantinio sprogo poveikio formos. Bendrasis sprogo poveikis pasireiškia sugriovimais, kuriuos sukelia smūgio bangos ir sprogo terpė, judanti tam tikru atstumu nuo sprogo židinio. Slėgio fronto tiesiojo smūgiavimo į kliūtį poveikis yra stipriausias, bet paviršinis. Brizantinio poveikio atveju, kuriuo pasireiškia energijos (galios) išskyrimo greičio funkcija ir kuris yra būdingas kondensuotoms sprogstamosioms medžiagoms, tiesiogiai besiribojantys su sprogo vieta kūnai intensyviai skaldomi ir deformuojami.

Detonacija – sprogo proceso rūšis; jo metu kyla galinga savaiminio palaikymo viršgarsinė smūgio banga, kuri medžiagą suspaudžia taip stipriai, kad smūgio bangos praėjimo vietoje akimirksniu prasideda cheminė reakcija, kurią lydi didelis išskiriamos energijos kiekis. Stebimas itin stiprus ardomas poveikis yra susidarančios smūgio bangos, plintančios be kliūčių, rezultatas.

Liepsnos detonacinio plitimo vamzdynuose atveju didžiausias greitis gali siekti iki 3000 m/s. Liepsnos plitimo greitis daugiausia priklauso nuo degiojo mišinio tipo ir liepsnos plitimo sąlygų. Panašiomis bandymų sąlygomis gautos šios liepsnos plitimo greičio vertės:

- metano ir oro mišinio – 137 m/s 10,6 m atstumu nuo užsidegimo šaltinio;
- propano ir oro mišinio – 149 m/s 10,6 m atstumu;
- metileno ir oro mišinio – 149 m/s 3,4 m atstumu;
- vandenilio ir oro mišinio – 2134 m/s 1,5 m atstumu nuo užsidegimo šaltinio.

Svarstant gaisro ir sprogo pavojingumą, stipraus degimo plitimo pagreitėjimo galimybė dažnai neįvertinama, todėl pasirinktos apsaugos priemonės dažnai būna neveiksmingos.

Daugumoje degių sistemų reagentų koncentracijos ribos, kurias viršijus galimas detonacijos plitimas, yra siauresnės nei atitinkamos

ribos, kurioms esant vyksta liepsnos deflagracinis plitimas. Detonaciją gali nulemti daug priežasčių. Paprastai prieš kylant detonacijai išplinta smūgio banga, kurios intensyvumo pakanka greitėjančiai egzoterminei cheminei reakcijai sukelti. Silpnos smūgio bangos ribinis variantas yra garso banga. Jeigu degimo greitis yra mažesnis nei 45 m/s, smūgio bangų nesusidaro.

Fizinio sprogimo ypatumai

Fiziniai sprogimai dažniausiai siejami su indų sprogimais dėl garų ir dujų slėgio. Be to, pagrindinė jų kilimo priežastis yra ne cheminė reakcija, o fizinis procesas, sukeltas suslėgtų ar suskystintų dujų išsiskiriančios vidinės energijos. Tokių sprogimų jėga priklauso nuo vidinio slėgio, o pasekmės sukelia smūginę banga nuo besiplečiančių dujų arba sprogtus indo duženos. Fizinis sprogimas gali kilti, pavyzdžiui, nukritus kilnojamajam balionui su dujomis, veikiamomis slėgio, ir nutrūkus čiaupui, mažinančiam slėgį. Suskystintų dujų slėgis retai viršija 40 barų (kritinis daugelio įprastų suskystintų dujų slėgis).

Prie fizinių sprogimų priskiriamas ir vadinamosios fizinės detonacijos reiškinys. Jis kyla maišant karštą ir šaltą skysčius, kai vieno jų temperatūra svariai viršija kito skysčio virimo temperatūrą (pavyzdžiui, pilant išlydytą metalą į vandenį). Susidariusiame garų ir skysčių mišinyje garavimas gali vykti mišinio sprogimu dėl besivystančių lydinio lašų plonos fragmentacijos procesų, greito šilumos nukreipimo nuo jų ir šalto skysčio perkaitimo, lydimo stipraus garų susidarymo. Fizinę detonaciją lydi smūginės bangos susidarymas, kai susidaro perteklinis slėgis, esant skystajai fazei, tam tikrais atvejais slėgis siekia daugiau kaip tūkstantį atmosferų. Atitinkami procesai buvo pastebėti praktikoje sąveikaujant, pavyzdžiui, išlydytam aliuminiui ir vandeniui per avariją atominiam reaktoriuje, išlydytam plienui liečiantis su vandeniu liejimo ceche arba išsilydžius druskoms (Na_2CO_3 ir Na_2S) popieriaus pramonės srityje.

Atlikti specialūs garinių sprogimų, kilusių vandeniui liečiantis su karštu stiklo ir metalo lydiniu, tyrimai (Ga, Pb, Al, Cu, Fe). Dėl jų dispergavimo didelis šilumos kiekis perduodamas vandeniui, todėl šis greitai

garuoja. Nustatytos sąlygos, palankios garų sproгимui kilti priklausomai nuo lydinio medžiagos, vandens ir lydinio temperatūros, reaguojančių medžiagų masės, indo, kuriame medžiagos sąveikauja, formos.

Dauguma skysčių laikomi arba naudojami sąlygomis, kai jų garų slėgis svariai viršija atmosferos slėgį. Prie tokių skysčių priskiriami: suskystintos degiosios dujos (pavyzdžiui, propanas, butanas), suskystinti šaldymo agentai – amoniakas arba freonas, saugomi kambario temperatūroje, metanas, kuris turi būti saugomas žemesnėje temperatūroje, perkaitintas vanduo garų katiluose. Jei indas su perkaitintu skysčiu pažeidžiamas, garai išteka į aplinką ir dalis skysčio greitai išgaruoja. Jei garai gana greitai išteka ir išsiplečia, aplinkoje susidaro sproгimo bangos.

Indų su dujomis ir garais, veikiamų slėgio, sproгimo priežastys yra:

1. Korpuso sandarumo pažeidimas sulūžus kokiam nors mazgui, pažeidimai arba rūdys netinkamai naudojant indus.
2. Indo perkaitimas sutrikus elektros šildymui arba šildymo įrenginio režimui. Tokiu atveju slėgis indo viduje didėja, o korpuso sandarumas mažėja iki būklės, kai jis yra pažeidžiamas. Viršutinį atitinkamo sproгimo parametrų balą galima nustatyti pasitelkus priklausomybes, aprašytas trapiems indams. Realūs indų sproгimai bus mažiau intensyvūs palyginti su apskaičiuotaisiais, nes dėl medžiagos plastiškumo indai trūksta gana lėtai.
3. Indo sproгimas viršijus leistiną slėgį. Pavyzdžiui, bendros paskirties stambus garų katilas gali sprogti, jei vidinis slėgis viršija 10–15 kPa. Slėgis gali didėti garams nutekėjus į krosnį dėl pažeisto vamzdžio arba vandens kolektoriaus. Dėl šių greitų avarinių procesų tampa neįmanoma sumažinti perteklinį slėgį katile.

Dujų indai sproгsta ir vėliau dega atmosferoje dėl tų pačių jau aprašytų priežasčių, būdingų fiziniams sproгimams. Esminis skirtumas yra tas, kad šiuo atveju susidaro ugnies kamuolys, kurio dydis priklauso nuo dujinių degalų, išskirtų į atmosferą, kiekio. Šis kiekis savo ruožtu priklauso nuo fizinės dujų būklės inde. Laikant degalus dujų pavidalo, jo kiekis yra žymiai mažesnis nei laikant tame pačiame inde skystus degalus.

Sprogimo parametrai ir jo pasekmės

Sprogimo parametrai, nulemiantys jo pasekmes, iš esmės apibūdinami energijos pasiskirstymu sproginimo srityje ir jos pakartotinu pasiskirstymu plintant sproginimo bangai nuo sproginimo šaltinio. Iš pradžių visa energija yra susitelkusi šaltinyje kaip potencinė energija (žr. 21 pav.). Įvykus sproginimui, ši energija virsta kinetine ir šilumine sistemos energija, kuri apima visas dalyvaujančias medžiagas, esančias plintančioje smūginėje bangoje. Sistema yra nestacionari nuolat didėjant medžiagų, apimtų judėjimo, masei ir pakartotinai pasiskirstant energijai sproginimo produktuose ir dujose (ore), kurie yra veikiami smūginio suspaudimo.

Bendras sproginimo šaltinio energijos išsiskyrimo kiekis yra svarbi sproginimo charakteristika. Šis parametras yra esminis aprašant ir vertinant sproginimo pasekmes. Taip, pavyzdžiui, technologinių sistemų avarių pasekmės tiesiogiai priklauso nuo jų energetinių sproginimo potencialų W . Pavyzdžiui, dėl sproginimų metanolo oksidacijos į formaldehidą blokuose ($W = 0,17 \cdot 10^3$ MJ) aparatūra nebuvo suniokota, o panašios aparatūros etileno oksidacijos į etileno oksidą agregatuose ($W = 81 \cdot 10^3$ MJ) sproginimai sistemose sukeldavo stambias avarijas.

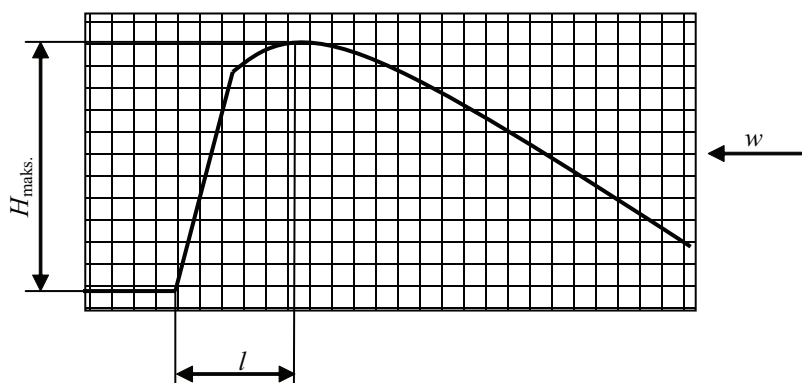
Technologiniuose aparatuose su degiosiomis medžiagomis tam tikromis sąlygomis gali susidaryti degioji terpė, kuriai užsiliepsnojus ir užsidegus (sproginimas) slėgis itin padidėja. Slėgio padidėjimą aparatuose lydinti sproginimo grėsmė kyla dėl greitai vykstančios egzoterminės cheminės reakcijos, žemos virimo temperatūros, skysčiui patekus į iki aukštos temperatūros įkaitusį aparatą, ir daugeliu kitų atvejų.

Sproginimo sukulto slėgio padidėjimo padarinys paprastai yra suardyta įranga (**9 priedas**). Suardžius įrangą, iš aparatų ir vamzdynų išeina didelis degių medžiagų kiekis, susidaro užsidegimo šaltiniai, todėl daugeliu atvejų gamybos vietoje gali kilti ir išplisti gaisras.

Šiuo metu yra žinomos šios aparatų apsaugos nuo suardymo sproginimo technologinei terpei sistemos: apsauga membraniniais įtaisais (pasyvioji apsauga), sproginimo slopinimas į aparatą greitai įterpus flegmatizatorių arba degimo reakcijos inhibitorių (aktyvioji apsauga).

Plačiai praktikuojamas yra pirmasis apsaugos būdas. Membraniniai apsauginiai įtaisai turi atitikti šiuos reikalavimus: užtikrinti apsaugomų aparatų hermetiškumą; suveikti pasiekus nustatytąjį slėgį; membraninių įtaisų suveikimo trukmė turi būti minimali, jų pralaidumo geba turi būti pakankama, membraniniai įtaisai turi būti atsparūs korozijai technologinėje terpėje ir pasižymėti ilgu tarnavimo laiku; membraninio įtaiso konstrukcija turi būti tokia, kad įtaisą būtų lengva pakeisti ir prižiūrėti; suirusios membranos nuolaužos neturi skatinti užsidegimo šaltinių (frikcinių kibirkščių) susidarymo; suveikus membraniniams įtaisams aparatų technologinė terpė neturi patekti į patalpos darbinę zoną arba įrangos priežiūros atvirose aikštelėse zoną.

Membraninio įtaiso apsauginio mechanizmo veikimo principas yra toks: slėgiui aparte išaugus iki leistinos vertės apsauginė membrana sudardoma ir atlaisvina angą terpei iš aparato išeiti (24, 25 pav.).

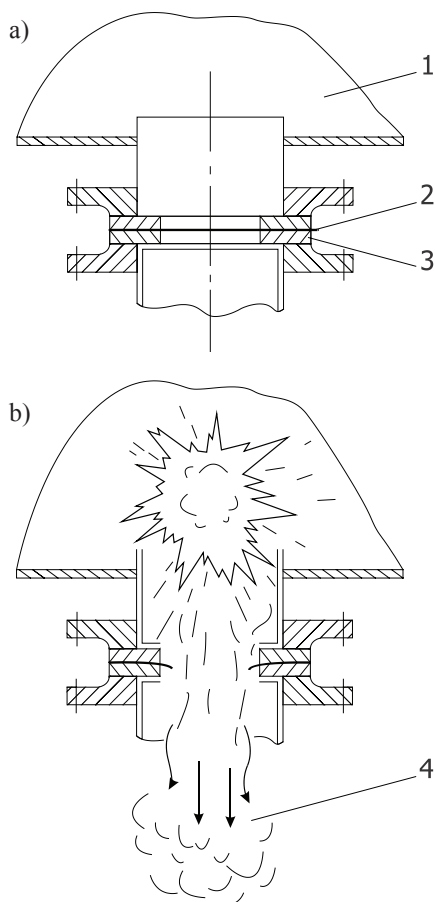


24 pav. Būdingoji sprogo diagrama: $H_{maks.}$ – didžiausias aukštis, mm;
 l – atstumas nuo degiojo mišinio užsidegimo pradžios iki sprogo didžiausiojo slėgio taško, mm; w – registruoklio juostos judėjimo greitis, mm/s

Aparatas nebus suardytas, jeigu degimo produktų susidarymo intensyvumas bus lygus jų išėjimui per membraninį įtaisą, t. y.

$$\frac{V_{dp}}{\tau_{spr}} = \omega \cdot F_a, \quad (40)$$

čia: V_{dp} – degimo produktų kiekis, m^3 ; τ_{spr} – maksimalaus sproginio susidarymo aparate laikas, s; ω – degimo produktų išėjimo laikas, m/s; F_a – membraninio įtaiso angos skerspjūvio plotas, m^2 .



25 pav. Membraninio įtaiso apsauginio poveikio schema: a) iki sproginio; b) per sproginį; 1 – apsaugomas aparatas; 2 – membraninis mazgas; 3 – trūkiąji membrana; 4 – degimo produktai

Paprastai skaičiavimai atliekami aparato saugomo tūrio 1 m^3 . Tokiu atveju angos specifinis plotas membraniniame įtaise apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f = \frac{F_a}{V_l} = \frac{\Delta V_{dp}}{\tau_{spr} \cdot \omega}, \quad (41)$$

čia: V_l – laisvasis aparato tūris, m^3 ; ΔV_{dp} – perteklinis degimo produktų kiekis, kuris yra nustatomas atsižvelgus į technologinio aparato atsparumo parametrus, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta V_{dp} = \frac{P_{maks.} - P_{ms}}{P_{at}}, \quad (42)$$

čia: $P_{maks.}$ – didžiausias sprogo slėgis, MPa; P_{ms} – membranos suardymo slėgis, MPa; P_{at} – aplinkinės terpės, kurioje vyksta dujų išmetimas, slėgis, MPa.

Priklausomai nuo aparate vyraujančio darbinio slėgio verčių galiojančiomis laikomos šios membranų suardymo slėgio vertės: $P_{ms} = 1,25 \cdot P_d$ – aparatams, veikiantiems esant didesniai nei $0,07 \text{ MPa}$ pertekliniam slėgiui; $P_{ms} = P_d + 0,03 \text{ MPa}$ – aparatams, veikiantiems esant mažesniai nei $0,07 \text{ MPa}$ pertekliniam slėgiui; $P_{ms} = 0,11 \text{ MPa}$ arba 105 MPa – aparatams su lengvai užsidegančiu skysčiu (LUS) ir degiuoju skysčiu (DS), veikiantiems esant atmosferos slėgiui arba vakuumui, kurių talpa (atitinkamai) – iki 30 m^3 ir daugiau kaip 30 m^3 . Didžiausio sprogo slėgio vertė nustatoma pagal informacinę literatūrą arba pagal formulę:

$$P_{maks.} = P_d \cdot \frac{T_{spr}}{T_d} \cdot \frac{\sum_{i=1}^K m_i}{\sum_{j=1}^k n_j}, \quad (43)$$

čia: P_d – darbinis slėgis aparate, MPa; T_d – darbinė temperatūra aparate, K; T_{spr} – sprogo temperatūra, K; $\sum m_i$ ir $\sum n_j$ – sudedamųjų dalių molekulių kiekis degimo produktuose ir pradiname mišinyje.

Sprogimo temperatūra nustatoma pagal stochiometrinio mišinio oksidavimosi reakcijos šiluminio balanso lygtį su sąlyga, kad visa degimo šiluma panaudojama degimo produktams įkaitinti, t. y.:

$$T_{spr} = \frac{Q_H}{m_1 C_{CO_2} + m_2 C_{H_2O} + m_3 C_{N_2}}, \quad (44)$$

čia: Q_H – degalų degimo žemutinė šilumos vertė, kJ/kmol; m_1, m_2, m_3 – CO_2, H_2O, N_2 molekulių kiekis degimo produktuose (atitinkamai): $C_{CO_2}, C_{H_2O}, C_{N_2}$ – degimo produktų šiluminė talpa kJ (kmol · K), kuri atitinkamai yra lygi: $C_{CO_2} = 54,7$; $C_{H_2O} = 44,5$; $C_{N_2} = 33,4$ (vidutinės vertės temperatūrų intervale 2000–3000 K). Kai kurių medžiagų informaciniai duomenys pateikti šios mokomosios medžiagos 1 ir 8 prieduose.

Degimo produktų išėjimo laikas nustatomas atsižvelgus į išėjimo režimą. Kadangi suveikus apsauginėms membranoms degimo produktų išėjimas paprastai vyksta kritiniu režimu, jų greitis nustatomas pagal formulę: $\omega = 12\sqrt{T_{spr}}$.

Membraninio įtaiso angos skerspjūvio bendras plotas apskaičiuojamas pagal formulę $F_a = f \cdot V_l$, čia V_l – laisvasis aparato tūris, m^3 .

Taip nustatomas angos skerspjūvio skersmuo, susiformuojantis membranai suirus (suveikus): $D = 1,13\sqrt{F_a}$.

Antroji svarbi vertė yra membranos storis; šią vertę galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$\Delta = \frac{P_{ms} \cdot D}{8 \cdot \sigma_M} - \sqrt{\frac{1 + \delta}{1 + \delta - 1}}, \quad (45)$$

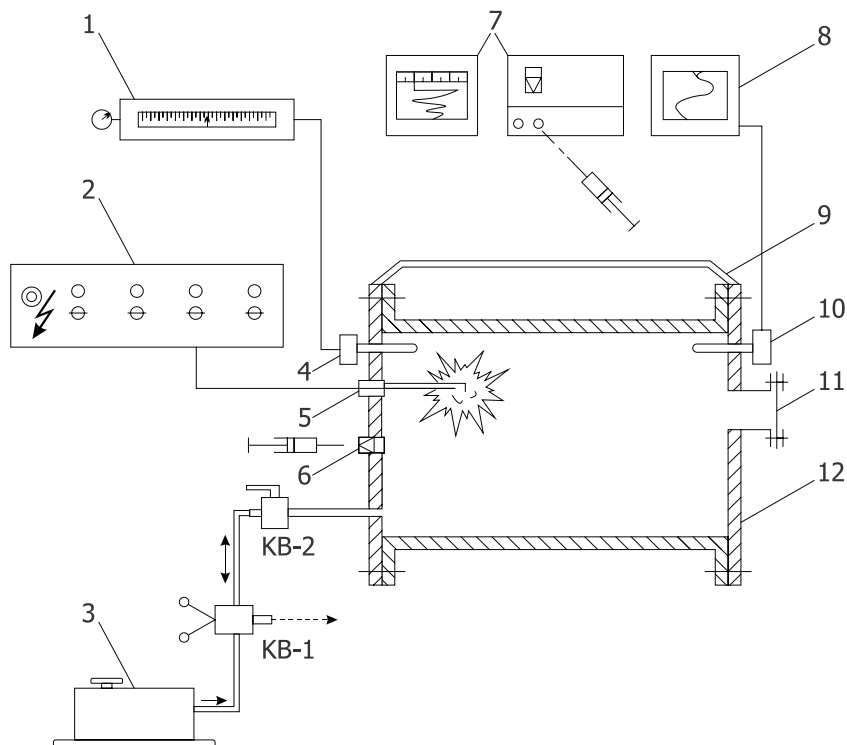
čia: σ_M – membranos medžiagos atsparumo riba (laikinisis trūkio pasipriešinimas) tempiant, MPa; δ – santykinis medžiagos pailgėjimas trūkio metu.

Minkštojo aliuminio $\sigma_M = 75$ MPa, $\delta = 0,23$; minkštojo nerūdijančio plieno $\sigma_M = 540$ MPa, $\delta = 0,38$; minkštojo vario $\sigma_M = 200$ MPa, $\delta = 0,3$; minkštojo žalvario $\sigma_M = 330$ MPa, $\delta = 0,38$.

Faktinį suveikimo slėgį galima nustatyti eksperimentiniu būdu.

Naudojami prietaisai ir darbo principai

Bandymams atlikti naudojama įranga, kurios principinė schema parodyta 26 pav.



26 pav. Bandymams atlikti naudojama įranga: 1 – potenciometas; 2 – aukštosios įtampos šaltinis; 3 – mikrokompresorius; 4 – šiluminis elementas; 5 – žvakė; 6 – įtaisas mėginiams paimti; 7 – „Gazochrom 3101“; 8 – sprogimo slėgio registruoklis; 9 – apsauginis gaubtas; 10 – sprogimo slėgio jutiklis; 11 – membraninis įtaisas; 12 – technologinis aparatas

Bandymo įrangą sudaro technologinis aparatas (12), kurio viduje įvyksta degiojo mišinio sprogimas; apsauginis gaubtas (9); šiluminis

elementas mišinio temperatūrai matuoti (4) su potenciometru (1); degiojo mišinio uždegimo įtaisas (5) su aukštosios įtampos šaltiniu (2); sprogo slėgio jutiklis (10); įtaisas, registruojantis sprogo slėgio vertę ir jos augimo greitį (8); chromatografas „Gazochrom 3101“ (7), skirtas degiajam mišiniui aparate kontroliuoti; mikrokompresorius (3) technologiniam aparatui prapūsti; membraninis įtaisas aparatui apsaugoti, kai jame padidėja slėgis (11); įtaisas degiesiems skysčiams tiekti į aparatą ir degių skysčių mėginams paimti (6).

Į bandymų įrangą įeina membranų iš lakštinės medžiagos angos skerspjūviui keisti skirtų veržlių su 5–20 mm skersmens angomis kompleksas.

Užduotis

1. Išnagrinėti apsauginių membraninių įtaisų apsauginio poveikio teorinius pagrindus.
2. Atlikti bandymus, skirtus nustatyti: a) didžiausio sprogo slėgio susidarymo laikui; b) membraninio įtaiso angos skerspjūviui; c) trūkiosios membranos suveikimo slėgiui.
3. Įvertinti (skaičiuojant) membraninio įtaiso angos skerspjūvį ir membranos storį.
4. Atlikti eksperimentinių ir skaičiavimo duomenų lyginamąją analizę, pateikti išvadas.

Darbo eiga

Susipažinti su laboratorinės sistemos sandara, 1 priedu, darbo ir priešgaisrinės saugos taisyklėmis. Paruošti toliau nurodyto pavyzdžio bandymų žurnalą.

Membraninio įtaiso bandymų žurnalas

Lengvai užsidegančio skysčio pavadinimas _____

Stechiometrinė koncentracija φ_{st} = _____ % (tūr.)

φ_{st}^* = _____ g/m³.

6.2 lentelė. Bandymų rezultatai

Sprogimo pavojų apibūdinantys parametrai	Bandymų Nr.						
	1	2	3	4	5	6	7
Angos skerspjūvis, m							
Pridėto LUS kiekis, cm ³							
LUS garų koncentracija, g/m ³							
Sprogimo slėgis, MPa							

LUS kiekis, būtinas stochiometrinei koncentracijai sudaryti, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_m = 1,7 \cdot \frac{\varphi_{st}^*}{\rho_s}, \quad (46)$$

čia: V_m – degiosios medžiagos kiekis, m³; 1,7 – aparato tūris, l; φ_{st}^* – degalų stochiometrinė koncentracija, g/m³; ρ_s – degiojo skysčio tankis, kg/m³ (žr. šio darbo priedą).

Darbo atlikimo tvarka

1. Įjungti visus sistemos įtaisus, kad sušiltų: valdymo bloką (2), potenciometrą (1), registruoklį (8), chromatografą (7).
2. Atsukti čiaupus KB-1 ir KB-2.
3. Demontuoti membraninį įtaisą (11).
4. Įjungti kompresorių (3) ir prapūsti aparatą (5 min.)
5. Išjungti kompresorių.
6. Užsukti čiaupus KB-1 ir KB-2.
7. Sumontuoti membraninį įtaisą (11).
8. Pradėti tiekti per įtaisą (6) į aparatą (12) pamatuotą degiojo skysčio kiekį.
9. Patikrinti čiaupų padėtis (visi čiaupai užsukti).
10. Sumontuoti apsauginį gaubtą (9).
11. Išlaikyti 5 min., kad homogenizuotųsi terpė aparato viduje.

12. Per įtaisą (6) paimiti aparato terpės mėginį ir, pasitelkus chromatografą (7), atlikti jo analizę.
13. Įjungti juostos ištraukimo mechanizmą registruoklyje (8).
14. Įjungti uždegimo sistemą ir padegti skystį aparate.
15. Išjungti juostos ištraukimo mechanizmą.
16. Atjungti uždegimo sistemą.
17. Atsukti čiaupus KB-2 ir KB-1.
18. Pakelti apsauginį gaubtą (9).
19. Atliekant kitą bandymą, visos operacijos kartojamos nuo 3 punkto.

Jeigu mišinys aparate (12) neužsidega, reikia kelis kartus paspausti mygtuką „Įjungti“. Jeigu mišinys neužsidega, apie tai būtina pranešti dėstytojui ir kartu su laborantu išsiaiškinti bei pašalinti nesklandumų priežastis, patikrinti apskaičiuotus duomenis ir pakartoti bandymą iš pradžių.

Užbaigus bandymų seriją išjungti visus sistemos įtaisus.

Sprogimo parametrams nustatyti skirtas 1 bandymas atliekamas membraniniame įtaise (11) sumontavus aklidangtį.

2, 3, 4, 5, 6 bandymai, skirti membraninio įtaiso praėjimo skerspjuviui nustatyti, atliekami membraniniame įtaise (11) paeiliui sumontuojant atramines poveržles (be membranų) su 5, 10, 15, 20, 25 cm skersmens angomis.

7 bandymas, skirtas eksperimentinei ardančiojo slėgio vertei nustatyti, atliekamas membraniniame įtaise (11) su atramine poveržle sumontavus trūkiąją membraną; atraminės poveržlės angos skersmens dydis turi būti artimiausias skaičiuojamajam angos skerspjuviui. Šiam bandymui atlikti studentai iš dėstytojo gauna membranos ruošinius ir mikrometru nustato vidutinį membranos storį.

6 laboratorinio darbo ataskaita

1. Sprogimo slėgis P_{spr} apibrėžiamas kaip aukščiausiojo taško vertės $H_{maks.}$ ir slėgio mastelio (m_D) sandauga:

$$P_{spr} = H_{maks.} \cdot m_D.$$
Slėgio mastelis nurodytas ant slėgio registruoklio.

2. Sprogimo trukmė τ_{spr} apibrėžiama pagal sprogimo dinamikos diagramą (24 pav.), įrašytą registruoklio (8) juostoje kaip atkarpos ilgio nuo degiojo skysčio užsidegimo taško iki sprogimo didžiausiojo slėgio taško (L , mm) ir juostos judėjimo registratoriumi greičio (W , mm/s) santykis, t. y. $\tau_{spr} = L / W$.
3. Pagal gautus bandymo duomenis sukuriami priklausomybės $P_{spr} = f(F_a)$, čia F_a – angos plotas atraminėje poveržlėje, m^2 .

Grafiškai apibrėžiamas optimalus membraninio įtaiso angos pjūvis, išreiškiamas kaip bandomosios priklausomybės [$P_{spr} = f(F_a)$] sankirtos taško su tiese $P_{ms} = 0,11 \text{ MPa}$ abscisė.

Darbo ir gaisrinės saugos reikalavimai

1. Uždegimo žvakei tiekiami 10 000–12 000 V įtampa. Siekiant išvengti elektros smūgio, draudžiama liesti dalis, kuriomis teka srovė, ir keisti membranas bei atramines poveržles, kai uždegimo sistema yra įjungta.
2. Per sprogimą aparate susidaro didelis slėgis. Todėl griežtai draudžiama uždegti degųjų skystį aparate. Stovėti aparato galuose ir pasilenkti virš sistemos per bandymą prieš tai nenuleidus apsauginio gaubto griežtai draudžiama.
3. Bandymams atlikti naudojami LUS (metanolis, etanolis, acetonas ir kt.) yra nuodingi, todėl juos naudojant būtinas išskirtinis atsargumas.

Priedas

Pagrindinės degių skysčių fizikinės ir cheminės savybės:

- acetonas (C_3H_6O) – LUS; molekulinė masė 58,1; degimo šiluma 1660 kJ/mol; tankis 790,8 kg/m³;
- N-heksanas (C_6H_{14}) – LUS; molekulinė masė 86,2; degimo šiluma 4450 kJ/mol; tankis 659,4 kg/m³;
- etanolis (C_2H_6O) – LUS; molekulinė masė 46,1; degimo šiluma 1430 kJ/mol; tankis 789,3 kg/m³.

Sprogimo parametrai (priklausomai nuo LUS garų koncentracijos ore) pateikti 6.3 lentelėje.

6.3 lentelė. Sprogimo parametrai priklausomai nuo LUS garų koncentracijos ore

Medžiaga	Koncentracija, dalies tūris	Didžiausias sprogimo slėgis, MPa	Didžiausiojo sprogimo slėgio susidarymo laikas, s	Didžiausias sprogimo slėgio greitis, MPa/s
Acetonas	0,04	0,40	0,20	3,2
	0,06	0,53	0,07	9,6
	0,08	0,48	0,16	5,8
N-Heksanas	0,012	0,67	0,17	5,6
	0,02	0,56	0,08	10,9
	0,025	0,59	0,06	16,0
	0,03	0,58	0,15	10,0
Etanolis	0,05	0,31	0,94	0,5
	0,08	0,59	0,06	13,1
	0,1	0,62	0,056	16,0
	0,12	0,63	0,064	14,7
	0,14	0,61	0,084	13,9

Kontroliniai klausimai

1. Apibūdinkite temperatūros faktoriaus svarbą ir įtaką gaisro ir sprogimo pavojaus aspektu.
2. Kokios apsaugos nuo sprogimo priemonės yra naudojamos? Jų veikimo principai.
3. Kaip formuojasi sprogimas?
4. Kokie sprogimo tipai?
5. Kokios priemonės naudojamos technologiniam procesui reguliuoti, siekiant išvengti sprogimo?

7. Technologinės įrangos paruošimo remontiniams ugnies darbams procesų priešgaisrinės saugos užtikrinimas

Darbo tikslas

1. Įtvirtinti teorines žinias.
2. Įsisavinti technologinių aparatų paruošimo ugnies darbams procesų pavojingumo parametrų bandomojo apibrėžimo metodiką ir įgūdžius.

Teorinė dalis

Eksplloatuojant technologinius aparatus būtina atlikti aparatų rekonstrukcijos, remonto arba demontavimo darbus, susijusius su virinimu, pjovimu, litavimu, kumuliaciniu sprogimu ir pan., jie gali sukelti užsidegimo grėsmę.

Technologinių aparatų paruošimo remonto darbams procesas kelia gaisro ir sprogimo pavojų, nes remontuotinos įrangos įprastinis technologinis režimas paprastai yra nutraukiamas, ji išardoma, sudaromos sąlygos degiajam mišiniui susidaryti. Atliekant ugnies darbus dažnai turi dalyvauti darbininkai, todėl galimi sprogimai ir gaisras gali tapti mirties atvejų priežastimi.

Kai atliekami technologinių aparatų ugnies darbai, saugumas turi būti užtikrinamas sumažinant degalų koncentraciją iki saugios vertės:

- a) kai ugnies darbai vykdomi aparato išorėje:

$$C_{saugi} \leq LAKR = \frac{C_A}{K_S}, \quad (47)$$

$C_{saugi} \leq LKR$, čia C_{saugi} – saugi koncentracija; $LAKR$ – leistinos apsaugančios nuo sprogimo koncentracijos riba; C_A – apatinė koncentracinė

liepsnos plitimo riba; K_s – saugos koeficientas, lygus 20; LKR – leistina koncentracijos riba pagal sanitarines normas;

b) kai ugnies darbai vykdomi aparato viduje, dalyvaujant žmonėms.

Esami technologinių aparatų paruošimo ugnies darbams būdai dalijami į dvi grupes: valymo ir flegmatizacijos.

Valymas (priklausomai nuo aparato tipo, likutinės medžiagos savybių) gali apimti šias technologines operacijas: praplovimą (tirpikliais, techninių ploviklių vandens tirpalais, vandeniui), garinimą, ventiliavimą.

Flegmatizacija vykdoma pasitelkus inertines dujas, degimo produktus, chemiškai aktyvius degimo inhibitorius, vandens garą, putas.

Labiausiai paplitusi gamybinė operacija, vykdoma prieš atliekant remontinius ugnies darbus, yra technologinių aparatų priverstinis ventiliavimas. Technologinis aparato ventiliavimo procesas gali būti aprašytas šia diferencine lygtimi:

$$VdC + q_{paš.}C_{paš.}d\tau - q_{tiek.}C_{tiek.}d\tau = M^*d\tau, \quad (48)$$

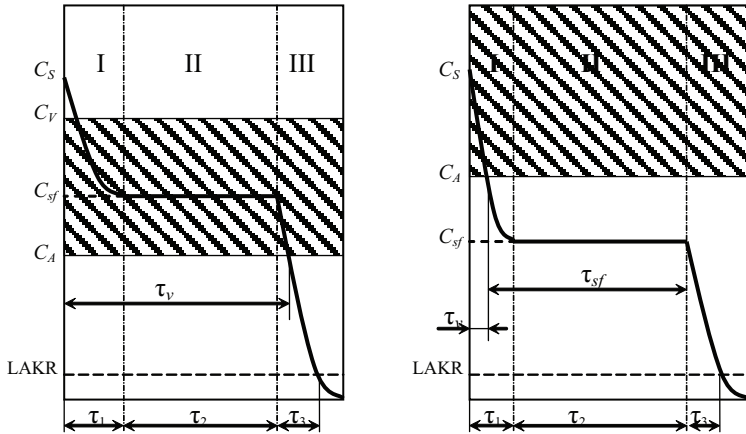
čia C , $C_{paš.}$, $C_{tiek.}$ – atitinkamai degalų koncentracija dujų erdvėje, pašalinamoje garų ir oro mišinyje ir tiekiamajame ore, kg/m^3 ; $q_{tiek.}$, $q_{paš.}$ – oro tiekimo bei garų ir oro mišinio išmetimo našumas, m^3/s ; V – aparato tūris, m^3 ; M^* – skysčio likučių garavimo intensyvumas, $\text{kg}/(\text{cm}^2)$; τ – laikas, s.

Bandymai parodė, kad (nepriklausomai nuo oro tiekimo į aparatą formos ir būdų) ventiliavimo procesą galima suskirstyti į tris periodus: nenusistovėjusį, pagrindinį, baigiamąjį. Garo koncentracijos pokyčio nurodytais periodais pobūdis dažniausiai apibrėžiamas remiantis garuojančio skysčio savybėmis.

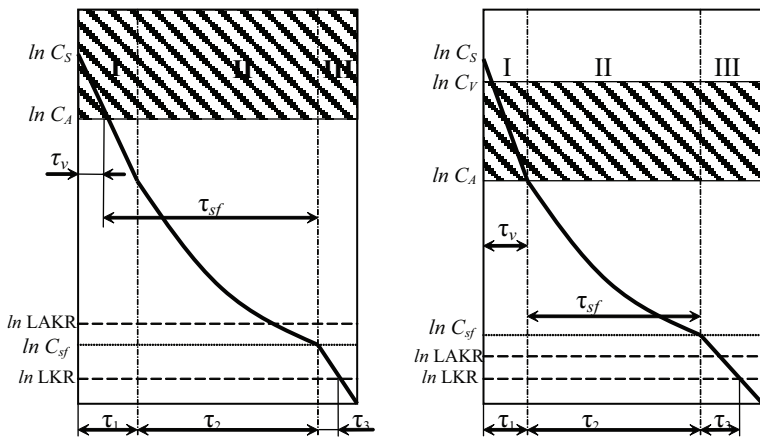
Nenusistovėjusiam (pirmajam) periodui būdingas ištisinis koncentracijos mažėjimas; pagrindinis (antrasis) periodas vienkomenčiams skysčiams yra stacionarus (27 pav.), o daugiakomenčiams skysčiams (benzinui, žibalui, dyzelinui ir pan.) – nestacionarus pobūdžio (28 pav.) todėl, kad skysčio savybės nuolat keičiasi. Baigiamasis (trečiasis) periodas prasideda visiškai išgaravus skystajai fazei. Kiekvieno iš trijų periodų trukmę galima apibrėžti pagal formules:

Pirmasis periodas:

$$\tau_1 = \frac{V}{q_{tiek.}} \ln \frac{M_1^* - q_{tiek.} C_0}{M_1^* - M_2^*}. \quad (49)$$



27 pav. Vidutinio tūrio koncentracijos pokytis aparato dujų ertmėje, kai ventiliuojamas vienkomponenčio skysčio likutis: I, II, III – ventiliavimo periodai;  – užsidegimo sritis



28 pav. Vidutinio tūrio koncentracijos pokytis aparato dujų erdvėje, kai ventiliuojamas daugiakomponenčio skysčio likutis: I, II, III – ventiliavimo periodai;  – užsidegimo sritis

Antrasis periodas:

vienkomponentis skystis

$$\tau_2 = \frac{G_0}{M_2^*}; \quad (50)$$

daugiakomponentis skystis

$$\tau_2 = \frac{\frac{M_2^* q_{tiek.}}{\alpha(q_{tiek.} - \alpha V)}}{\frac{M_2^* q_{tiek.}}{\alpha(q_{tiek.} - \alpha V)} - G_0}. \quad (51)$$

Trečiasis periodas:

$$\tau_3 = \frac{V}{q_{tiek.}} \ln \frac{C_{2-P}}{C_{saugi.}}, \quad (52)$$

čia indeksai: 0, P, 1, 2, 3 – atitinkamai žymi proceso pradžią ir pabaigą, pirmąjį, antrąjį ir trečiąjį periodus; α – garavimo koeficientas; G_0 – skysčio likučio masė, kg.

Pagrindiniai parametrai, apibūdinantys ventiliavimo proceso pavojingumą, yra šie:

- a) gaisro keliamo sprogimo pavojaus parametras Π_1 , nusakantis sprogias koncentracijas ir gaisrinę apkrovą (žr. 23, 24 pav.):

$$\Pi_1 = \frac{\tau_v}{\tau_{ben.}} = \frac{Q_v}{Q_{ben.}} = \frac{A_v}{A_{ben.}}, \quad (53)$$

čia: τ_v – ventiliavimo trukmė, kai $C \geq C_A$; $\tau_{ben.}$ – bendras ventiliavimo laikas; Q_v – oro kiekis, reikalingas koncentracijai sumažinti iki C_A ; $Q_{ben.}$ – bendras oro kiekis; A_v – oro apykaitos ciklų skaičius koncentracijai sumažinti iki C_A ; $A_{ben.}$ – bendras oro apykaitos ciklų skaičius;

- b) gaisro keliamo sprogimo pavojaus parametras Π_2 , nusakantis tik gaisrinę apkrovą (žr. 27, 28 pav.):

$$\Pi_2 = \frac{\tau_{sf}}{\tau_{ben.}} = \frac{Q_{sf}}{Q_{ben.}} = \frac{A_{sf}}{A_{ben.}}, \quad (54)$$

čia: τ_{sf} – skystosios fazės garavimo laikas, kai $C < C_A$; Q_{sf} , A_{sf} – oro kiekis ir oro apykaitos ciklų skaičius, būtinas skystajai fazei išgaruoti, kai $C < C_A$.

Parametrus Π_1 ir Π_2 galima apibrėžti atliekant skaičiavimus arba eksperimentiniu būdu.

Naudojami prietaisai ir darbo principai

Bandymai, skirti technologinės įrangos paruošimo remontiniams ugnies darbams vykdyti proceso priešgaisrinės saugos užtikrinimo galimybėms tirti, pasitelkus priverstinį ventiliavimą, atliekami laboratoriniame stende, kurio schema pavaizduota 29 pav.

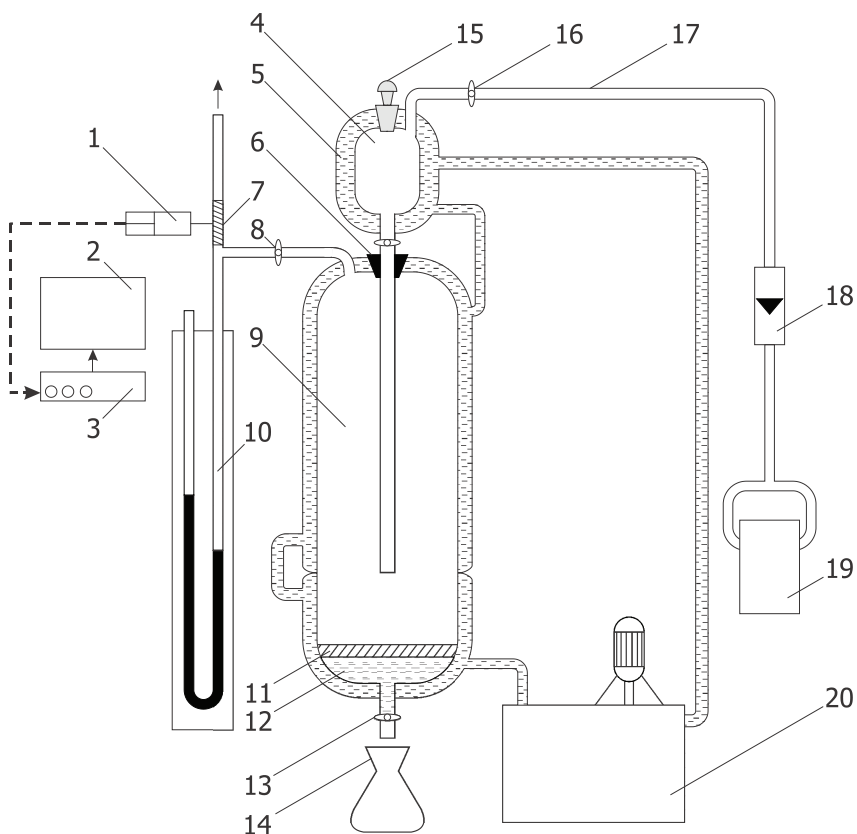
Eksperimentiniame inde (9) suformuota oro pagalvė (12), skirta lygiam degiųjų skysčių (11) garavimo paviršiui sudaryti. Termostatas (20) užtikrina tam tikro temperatūrinio režimo palaikymą eksperimentiniame inde (9), pašildytą vandenį perpumpuojant per aušinimo ertmę (5).

Mikrokompresorius (19) tiekia orą į eksperimentinio indo dujų ertmę. Oro sunaudojimas reguliuojamas adatinio vožtuvu, kuris yra įtaisytas ant rotometro (18). U formos manometras (10) leidžia kontroliuoti čiaupų padėtį ventiliuojant eksperimentinį indą.

Garų ir oro mišinys iš eksperimentinio indo pašalinamas į traukiamosios ventiliacijos sistemą. Šio proceso metu švirkštu (1) per vakuuminę gumą (7) periodiškai paimamas garų ir oro mišinio mėginys dujų analizei atlikti. Dujų analizė atliekama pasitelkus chromatografą „Gazochrom 3101“ (3).

Užduotis

1. Susipažinti su šio darbo teorine dalimi.
2. Atlikti bandymą, skirtą garų vidutinei tūrio koncentracijai pašalinamame oro ir garų mišinyje nustatyti (ventiliuojant aparatą). Skysčio likučio tipą, oro sunaudojimą, eksperimentinio indo šildymo temperatūrą nustato dėstytojas. Bandymas užbaigiamas koncentracijai sumažėjus iki leistinos, sprogimo požįūriu saugios, dujų ir garų koncentracijos ribos.
3. Remiantis gautais duomenimis sudaryti grafiką $C = f(A)$. Pagal grafiką apibrėžti parametrus Π_1 ir Π_2 .
4. Suformuluoti priešgaisrinės profilaktikos veiksmus.



29 pav. Laboratorinio stendo schema: 1 – švirkštas, skirtas mėginiams dujų analizei paimti; 2 – potenciometras KCI; 3 – chromatografas „Gazochrom 3101“; 4 – indas tiekiamam skysčiui pašildyti; 5 – aušinimo ertmė; 6 – guminis kamštis; 7 – vakuuminė guma; 8, 13, 16 – čiaupai; 9 – eksperimentinis indas; 10 – U formos manometras; 11 – skysčio likučiai; 12 – vandens pagaldvė; 14 – indas; 15 – stiklinis kamštis; 17 – oro tiekimo linija; 18 – rotametas; 19 – mikrokompresorius; 20 – termostatas.
Eksperimentinio indo tūris $V = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Darbo eiga

1. Susipažinti su laboratorinio stendo sandara, 1 ir 2 priedais, darbo ir priešgaisrinės saugos taisyklėmis. Paruošti bandymų žurnalą pagal toliau nurodytą formą.

Remonto darbams ruošiamo aparato ventiliavimo proceso analizės žurnalas

Lengvai užsidegančio skysčio pavadinimas _____

Termostato temperatūra $t_p =$ _____ °C

Oro sunaudojimas $q =$ _____ m³/s

Lengvai užsidegančio skysčio likutis $V_{sk} =$ _____ m³

Lengvai užsidegančio skysčio keliamo gaisro pavojaus rodikliai (informaciniai duomenys): užsiliepsnojimo koncentracijos riba – atitinkamai apatinė ir viršutinė $C_A =$ _____ % tūrio;

$C_V =$ _____ % tūrio; molekulinė masė $M_{sk} =$ _____.

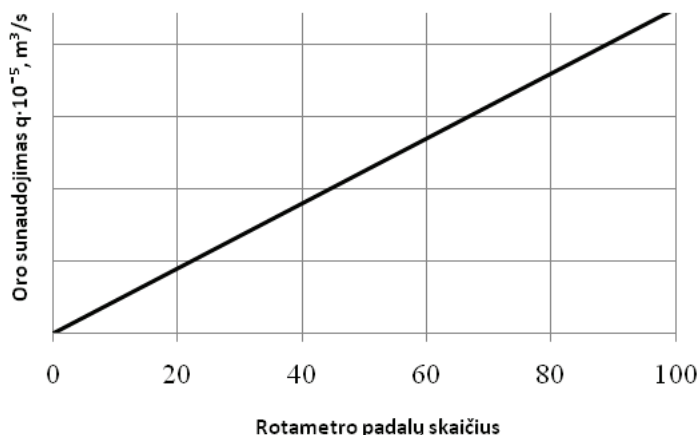
$$LAKR = 5 \cdot 10^{-4} C_A \frac{M_{sk}}{V_t} = \text{_____ kg/m}^3,$$

čia V_t – tūris, kurį užima 1 kmol garo duotosiomis sąlygomis.

7.1 lentelė. Matavimų ir skaičiavimų rezultatai

Matavimų Nr.	Ventiliavimo proceso parametrai			Garo koncentracija pašalinamame mišinyje $C \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
	Trukmė τ , s	Oro kiekis Q , m ³	Oro apykaitos ciklų skaičius A	
1				
2				
3				
4				
<i>i</i>				

2. Dėstytojo nurodymu gauti iš laboranto tirti skirtą degųjų skystį ir įrašyti žurnale: lengvai užsidegančio skysčio likučio kiekį, temperatūrą, oro sunaudojimą.
3. Remiantis informacine literatūra rasti skysčio keliamo gaisro pavojaus rodiklius, įrašyti juos žurnale.
4. Patikrinti: čiapus, t. y. čiapas (13) (žr. 29 pav.) turi būti užsuktas, kiti čiapai – atsukti; patikrinti, ar eksperimentiniame inde yra vandens pagalvė. Specialiu švirkštu paimti nurodytą lengvai užsidegančio skysčio kiekį, atidaryti kamštį (15) (žr. 29 pav.) ir išvirkšti skystį į eksperimentinį indą. Įsitikinti, kad degusis skystis pasiekė vandens pagalvę.
5. Įjungti „Gazochrom 3101“ ir termostatą. Sušildyti vandenį iki nurodytos temperatūros.
6. Įjungti mikrokompresorių (19) (žr. 29 pav.) ir prapūsti eksperimentinį indą. Nustatyti dėstytojo nurodytą sunaudojamo oro kiekį, taikyti priklausomybę, pavaizduotą 30 pav. Iškart po to, kai bus nustatytas oro kiekis, dujų analizei skirtu švirkštu per vakuuminį vamzdelį paimti mėginį. Bandymą nutraukti garų koncentracijai sumažėjus iki leistinos, sprogimo požiriu saugios dujų ir garų koncentracijos ribos. Užbaigus bandymą išjungti mikroprocesorių „Gazochrom 3101“ ir termostatą.



30 pav. Oro sunaudojimo priklausomybė nuo rotometro padalų

7 laboratorinio darbo ataskaita

1. Užsidegimo koncentracinių ribų apibrėžimas svorio vienetais:

a) apatinė užsiliepsnojimo koncentracijos riba

$$C_A^* = C_A \frac{M_{sk} \cdot 10^{-2}}{V_t}; \quad (55)$$

b) viršutinė užsiliepsnojimo koncentracijos riba

$$C_V^* = C_V \frac{M_{sk} \cdot 10^{-2}}{V_t}. \quad (56)$$

2. Oro, reikalingo aparatui prapūsti, kiekį nustatyti pagal formulę:

$$Q = q \cdot \tau. \quad (57)$$

Oro apykaitos ciklą skaičius:

$$A = \frac{Q}{V_{an}}. \quad (58)$$

Darbo ir priešgaisrinė sauga

1. Visos sistemos dalys yra pagamintos iš stiklo, todėl su jomis turi būti elgiamasi itin atsargiai. Kilus klausimų kreiptis į laborantą.
2. Darbus atlikti įjungus traukiamąją ventiliaciją.
3. Pilant į eksperimentinį indą degųjų skystį būtinas ypatingas atsargumas. Patikrinti, ar čiaupai yra tinkamoje padėtyje.
4. Išlietą skystį užberti smėliu. Vėliau smėlį surinkti į specialią talpyklą ir pašalinti iš laboratorijos.

Kontroliniai klausimai

1. Kaip užtikrinamas technologinių aparatų ugnies darbų saugumas?
2. Kokius žinote technologinių aparatų paruošimo ugnies darbams būdus?
3. Suskirstykite ir apibūdinkite ventiliavimo procesą.
4. Kokias žinote liepsnos plitimo koncentracines ribas, kaip jos priklauso nuo aplinkos sąlygų?

PRIEDAI

1. Lengvai užsiliepsnojančių skysčių gaisrinio pavojingumo rodikliai

Pavadinimas		Acetonas (2-propanonas, dimetilketonas)	Benzolas	Metilo alkoholis (metanolis, metilo spiritas)
Formulė		C_3H_6O	C_6H_6	CH_4O
Molekulinė masė, M		58,08	78,11	32,04
Tankis ρ , kg/m ³		790,8	873,68	786,9
Virimo temperatūra t , °C		56,5	80,1	64,9
Pliūpsnio tempe- ratūra t_p , °C		-18/-9	-11	6
Užsiliepsnoji- mo tempera- tūros ribos, °C	t_A	-20	-15	5
	t_V	6	13	39
Užsiliepsno- jimo koncen- tracijos ribos, tūrio %	C_A	2,7	1,43	6,98
	C_V	13	8	35,5
Difuzijos koeficien- tas D_p , m ² /s		$0,109 \cdot (T/273)^{1/9}$	0,0775 (esant 0 °C)	0,162 (esant 25 °C)
Sočiųjų garų slėgis (Pa), $\lg p_s =$		$6,37\,551 - \frac{1281,721}{237,088 + t}$	$5,61\,391 - \frac{902,275}{178,099 + t}$	$7,3527 - \frac{1660,454}{245,818 + t}$

Pavadinimas		Etilo alkoholis (etanolis, etilo spiritas)	Stirolas (vinilbenzolas, etenilbenzolas, feniletilenas)	Toluolas (metilbenzolas, fenilmetanas)
Formulė		C_2H_6O	C_6H_8	C_7H_8
Molekulinė masė, M		46,07	104,14	92,14
Tankis ρ , kg/m ³		785,0	901,7	866,9
Virimo tempera- tūra t , °C		78,5	145	110,6
Pliūpsnio tempe- ratūra t_p , °C		13/16	30/37	7
Užsiliepsnoji- mo tempera- tūros ribos, °C	t_A	11	27	6
	t_V	41	67 (sk)	37
Užsiliepsno- jimo koncen- tracijos ribos, tūrio %	C_A	3,6	1,1	1,27
	C_V	17,7	7,2	6,8
Difuzijos koeficientas D_p , m ² /s		0,132 (esant 25 °C)	0,0674 (esant 0 °C)	0,0753 (esant 0 °C)
Sočiųjų garų slėgis (Pa), $\lg p_s =$		$7,81158 - \frac{1918,508}{252,125 + t}$	$7,06542 - \frac{2123,057}{272,988 + t}$	$6,0507 - \frac{1328,171}{217,713 + t}$

2. Svarstyklių naudojimosi instrukcija

Analitinėmis svarstyklėmis galima pasverti 0,0002 g tikslumu.

Galima sverti ne sunkesnę kaip 200 g daiktą.

Atidarinėti dureles, dėti svarelius, perkelti reiterį reiterine skale galima esant tik užfiksuotoms lėkštelėms (aretyru).

Naudojant svarelius sveriamo kūno masę galima nustatyti 10 mg tikslumu. Nustatyti kūno masę miligramo ir 0,1 mg tikslumu galima tik reiteriu.

Reiteris (pagamintas iš aliuminio vielos ir yra 5 mg svorio) pakabinamas ant kablelio, pritvirtinto prie slankiojo strypelio, kurio rankenėlė yra svarstyklių viršuje dešinėje pusėje.

Prie svirties pečių pritvirtinta skalė. Skalė nuo nulinės padalos į kairę ir į dešinę padalinta į 10 stambių padalų.

Stambi skalės padala padalinta dar į 5 smulkesnes padalas. Skalės smulkių padalų vietoje padaryti grioveliai tiksliai reiterio padėčiai nustatyti. Stambios skalės padalos atitinka 0,001 g, o smulkios padalos – 0,0002 g.

Svėrimas

1. Svarelių rinkinys dedamas iš dešinės svarstyklių pusės, o sveriamas kūnas – iš kairės.
2. Patikrinama nulinė padėtis (priekine rankenėle atlaisvinamos lėkštelės).
3. Esant užfiksuotoms lėkštelėms, iš kairės pusės atidaromos durelės ir sveriamas kūnas dedamas į lėkštelės vidurį.
4. Atidaromos durelės iš dešinės pusės ir ant dešinės lėkštelės vidurio pincetu dedami svareliai.
5. Atlaisvinamos lėkštelės ir sveriamas.

Pusiausvyra nustatoma reiteriu, padedant jį įvairiose dešinės ar kairės pusės skalės vietose.

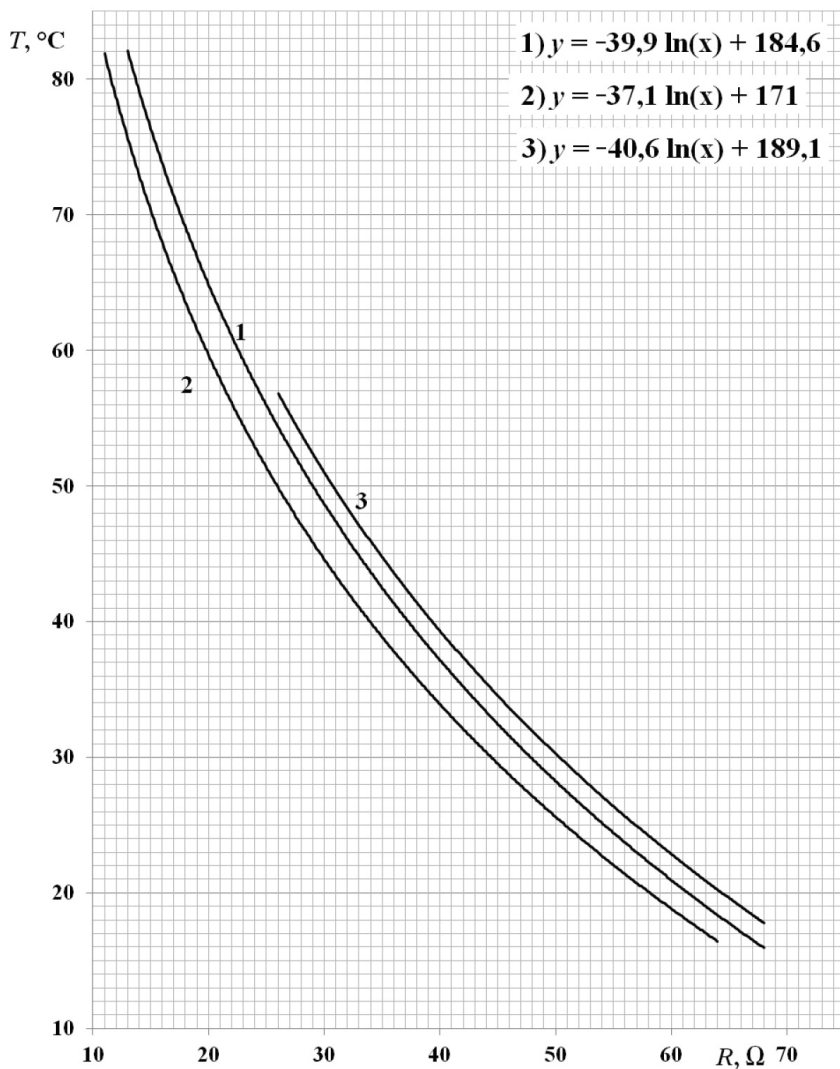
3. Elektrovaros jėgos J (milivoltais) perskaičiavimas į temperatūrą (°C)

mV	°C	mV	°C
0	0	15,0	205
0,5	8	15,5	211
1,0	17	16,0	218
1,5	24	16,5	224
2,0	30	17,0	230
2,5	38	17,5	236
3,0	45	18,0	241
3,5	51	18,5	248
4,0	58	19,0	254
4,5	65	19,5	260
5,0	73	20,0	266
5,5	80	20,5	272
6,0	87	21,0	278
6,5	94	21,5	284
7,0	101	22,0	290
7,5	108	22,5	295
8,0	115	23,0	301
8,5	122	23,5	307
9,0	128	24,0	313
9,5	135	25,0	319
10,0	142	25,5	325
10,5	148	26,0	331
11,0	150	26,5	337
11,5	161	27,0	343
12,0	168	27,5	348
12,5	174	28,0	354
13,0	180	28,5	360
13,5	186	29,0	366
14,0	192	29,5	372
14,5	198	30,0	377

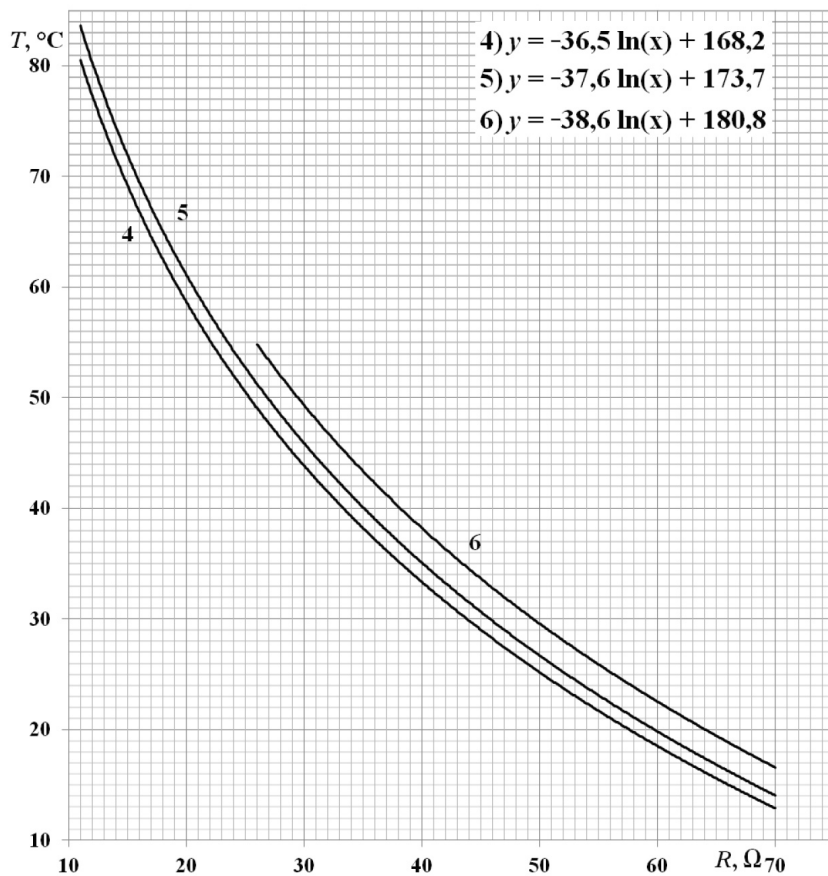
Pastabos:

1. Galioja chromelio-kopelio XK tipo termoporai.
2. Laisvi termoporos galai yra 15 °C temperatūroje.

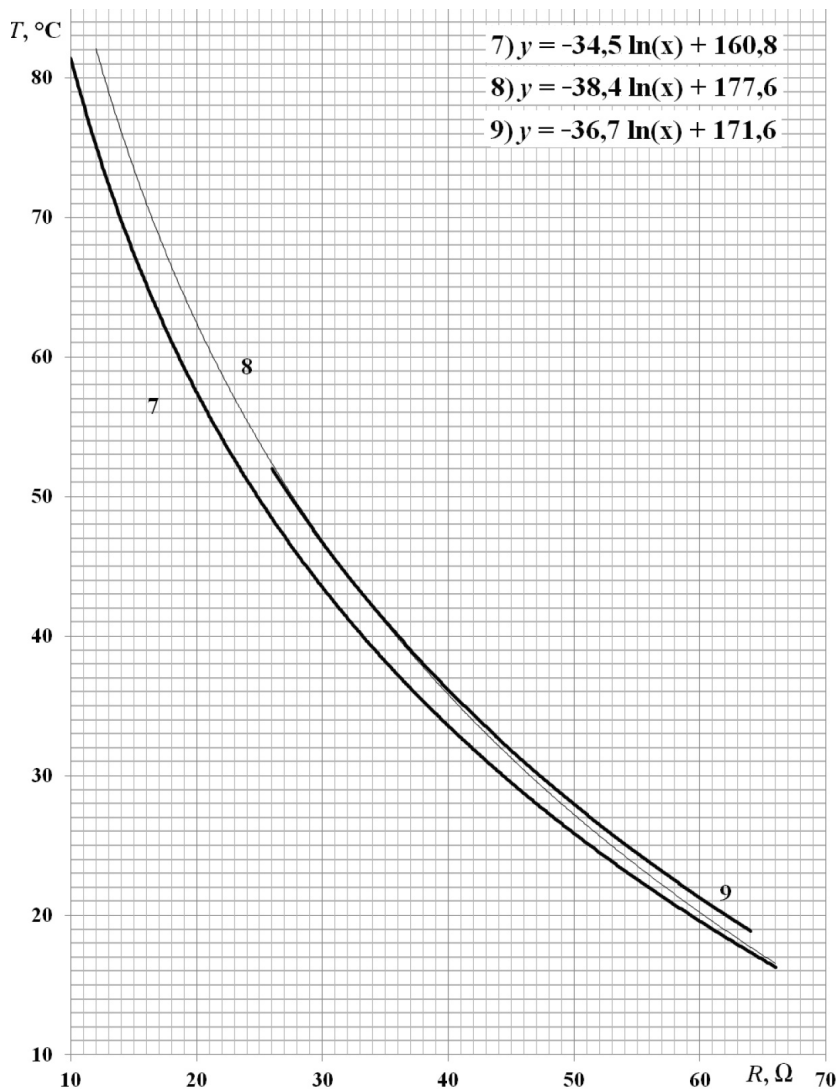
4. Termorezistorių, pritvirtintų šildymo elemento paviršiaus taškuose 1, 2, 3, varžos priklausomybė nuo temperatūros



5. Termorezistorių, pritvirtintų šildymo elemento paviršiaus taškuose 4, 5, 6, varžos priklausomybė nuo temperatūros



6. Termorezistorių, pritvirtintų šildymo elemento paviršiaus taškuose 7, 8, 9, varžos priklausomybė nuo temperatūros



7. Bekontakčio termometro IR-8839 naudojimosi instrukcija

Techninės charakteristikos



Temperatūros diapazonas	nuo -50 iki 1000 °C
Atvaizduojamoji skiriamoji geba	0,1 °C
Infraraudonojo diapazono tikslumas taikiniams:	
pasirenkama darbinė aplinkos temperatūra: 23–25 °C	
nuo -50 iki -20 °C	±5 °C
nuo -20 iki 200 °C	±1,5 % nuo nuskaitymo ±2 °C
nuo 200 iki 538 °C	±2 % nuo nuskaitymo ±2 °C
nuo 538 iki 1000 °C	±3,5 % nuo nuskaitymo ±5 °C
Atsako laikas	mažiau nei 1 sekundė
Spektrinis atsakas	8–14 μm
Emisija	skaitmeniniu būdu reguliuojama nuo 0,10 iki 1,0
Aplinkos darbinis diapazonas	nuo 0 iki 50 °C
Sandėliavimo temperatūra	nuo -20 iki 60 °C
Santykinis drėgnis	10 ~ 90 % RH darbo metu, <80 % RH sandėliuojant
Maitinimas	9 V baterijos, NEDA 1604A arba IEC 6LR61 arba ekvivalentiškos
Svoris, matmenys	290 g, 100×56×230 mm

Įspėjimas

Nenutaikykite lazerio tiesiogiai į akį ar netiesiogiai nuo atspindinčių paviršių.

Perspėjimai

Visi modeliai turi būti apsaugoti nuo:

- suvirinimo agregatų lanko, indukcinų krosnių ir kitų elektromagnetinių laukų (EML);
- statinio krūvio;
- terminio smūgio (nulemta didelių arba staigių aplinkos temperatūros pasikeitimų – prieš naudodamiesi agregatu, leiskite 30 min. jam stabilizuotis).

Nepalikti agregato ant arba šalia aukštos temperatūros šaltinių.

Į termometrą įeina:

- žiedinis matymo laukas;
- reguliuojama emisija;
- aukšto ir žemo lygio signalizacija;
- MAX, MIN, DIF, AVG temperatūros rodmenys;
- gaiduko užraktas;
- apšviečiamas ekranas;
- tvirta dėžė.

Vartotojo aplinka

Ekranas

1. HOLD (laikyti nekintantį vaizdą).
2. SCAN (skenuoti nekintantį vaizdą).
3. Emisijos simbolis ir reikšmė.
4. Išsikrovusios baterijos, užrakto „On“ (įjungta) ir lazerio „On“ simboliai.
5. Apšvietimo „On“ (įjungta) simbolis.
6. °F/°C simbolis.
7. Aukšto ir žemo lygio signalizacija.

8. MAX, MIN, DIF, AVG, HAL (aukšto lygio signalizacija), LAL (žemo lygio signalizacija) temperatūros vertės.
9. EMS, MAX, MIN, DIF, AVG, HAL, LAL simboliai.
10. Dabartinė temperatūros vertė.

Mygtukai

1. Rodyklinis mygtukas į viršų (EMS, aukšto ir žemo lygio signalizacijai nustatyti).
2. Režimo mygtukas (režimo ciklui keisti).
3. Rodyklinis mygtukas į apačią (EMS, aukšto ir žemo lygio signalizacijai nustatyti).
4. Lazerio ir apšvietimo įjungimo/išjungimo mygtukas (patraukite gaiduką ir paspauskite mygtuką – aktyvuojamas lazeris ir apšvietimas).

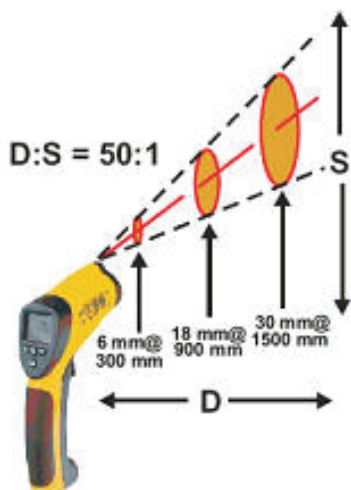
SCAN režimu skystųjų kristalų ekranas (SKE) atvaizduoja ir einamąją temperatūrą (10), ir išrinkto režimo funkciją (8, 9) laipsniais arba farenheitais (6). Agregato, atleidus gaiduką, paskutinis rodmuo matysis 7 sekundes; atsiranda žodis HOLD (1). Kai baterija išsikrovusi, atvaizduojama baterijos ikona, tačiau agregatas ir toliau funkcionuos; kai baterija yra visiškai tuščia, vaizdas ekrane išnyksta ir agregatas nustoja funkcionuoti. Tam, kad būtų aktyvuotas lazeris ir apšvietimas, patraukite gaiduką. Apšvietimui aktyvuoti vieną kartą paspauskite lazerio ir apšvietimo mygtuką (4), du kartus, jei norite įjungti ir lazerį, ir apšvietimą, tris kartus, jei norite juos išjungti.

Kaip veikia termometrai

Infraraudonųjų spindulių termometrai matuoja tamsaus objekto paviršiaus temperatūrą. Agregato optika fiksuoja išskirtą (emituotą), atspindėtą ir perduotą energiją, kuri detektoriaus yra kaupiama ir fokusuojama. Agregato elektronika gautą informaciją keičia į temperatūrą, kuri yra atvaizduojama agregato ekrane. Lazeris yra naudojamas tik siekiant nusitaikyti.

Kaip dirbti su agregatu

Temperatūrai išmatuoti agregatą nutaikykite į objektą ir patraukite gaiduką. Įsitikinkite, kad atstumo iki dėmės dydžio ir matymo lauko santykis yra tinkamas. Lazeris yra naudojamas tik nutaikyti. Kuo mažesnis taikinyš, tuo arčiau jo turėtumėte būti jūs.



Ieškodami karšto ar šalto taško, termometrą nutaikykite į išorinę dominančio ploto pusę. Tuomet lėtais judesiais į viršų ir žemyn skenuokite skersai ploto, kol aptiksite karštą arba šaltą tašką. Kai atstumas **D** nuo matuojamo objekto didėja, dėmės dydis **S** agregato matuojamame plote taip pat didėja. Dėmės dydis nusako 90 % supančios energijos.

Emisija

Emisija – terminas, vartojamas medžiagos energijos išsiskyrimo charakteristikoms apibūdinti. Dauguma organinių medžiagų ir nudažytų arba oksiduotų paviršių turi 0,95 emisiją. Netikslūs rodmenys gali būti tuomet, kai yra matuojami blizgantys arba nušlifuoti metalo paviršiai. Siekdami to išvengti, sureguliuokite agregato emisijos rodymą arba paviršių padenkite maskuojančia juosta arba sodria juoda spalva. Būtina palaukti, kol juosta ar dažai pasieks tokią pat temperatūrą, kokią turi po jais esanti medžiaga, tuomet galima matuoti juostos ar nudažyto paviršiaus temperatūrą.

Priminimai

- Nerekomenduojama matuoti blizgančių arba šlifuoto metalo (plieno, aliuminio ar pan.) paviršių.
- Agregatas negali matuoti objektų, esančių už permatomo paviršiaus, kaip kad stiklas ar plastikas. Jis matuos tik paminėtų medžiagų temperatūrą.
- Matavimų tikslumui gali pakenkti garai, dulkės ar kitos dalelės, užkemšančios agregato optiką.

8. Gaisrinio pavojingumo rodikliai tipiniuose dujų ir oro mišiniuose

Parametrai	Degioji medžiaga			
	Vandenilis	Vandenilio oksidas su vandens garais	Metanas	Acetilenas
Didžiausios vertės				
Liepsnos temperatūra, °K	2400	2370	2230	2610
Normalus liepsnos plitimo greitis**, m/s	2,7	0,33	0,34	1,4
Mažiausios reikšmės				
Uždegimo energija, mJ	0,018	–	0,28	–
Užsiliepsnojimo temperatūra, °K	673	826	713	578
Koncentracijos				
C_A , tūrio %	4	12,5	5	2,5
C_V , tūrio %	75	74	15	100
Detonacijos parametrai				
Degalų koncentracija mišinyje, tūrio %	29,52	–	9,48	7,73
Slėgis*, MPa	1,584	–	1,742	1,939
Temperatūra, °K	2951	–	2784	3114
Detonacijos greitis, m/s	1968	–	1802	1864

Parametrai	Degioji medžiaga			
	H-butanais	Propanas	Etanais	Etilenas
Didžiausios vertės				
Liepsnos temperatūra, °K	2170	2285	2170	2395
Normalus liepsnos plitimo greitis**, m/s	0,35	0,39	0,44	0,63
Mažiausios reikšmės				
Uždegimo energija, mJ	0,26	0,26	0,25	–
Užsiliepsnojimo temperatūra, °K	678	723	788	763
Koncentracijos				
C_A , tūrio %	1,8	2,1	3	2,7
C_v , tūrio %	8,4	9,5	12,4	36
1	2	3	4	5
Detonacijos parametrai				
Degalų koncentracija mišinyje, tūrio %	–	4,02	–	6,53
Slėgis*, MPa	–	1,863	–	1,863
Temperatūra, °K	–	2840	–	2929
Detonacijos greitis, m/s	–	1804	–	1822

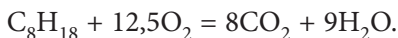
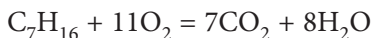
Pastabos:

* Pradinis dujų ir oro mišinio slėgis – 101,3 kPa, temperatūra – 25 °C.

** Liepsnos fronto judėjimo nesudegusių dujų atžvilgiu greitis kryptimi, statmena jo paviršiui.

Benzino ir jo garų, sudarančių sudėtingą pentano C_5H_{12} ; heksano C_6H_{14} ; heptano C_7H_{16} ; oktano C_8H_{18} ; nonano C_9H_{20} ir kitų angliavandenilių mišinį, savybės:

1. Molekulinė masė 72–128, vidutiniškai 109.
2. Priimtinausios benzino degimo reakcijos lygtys būtų tokios:



3. Tankis 722–806 kg/m³.
4. Garų tankis ore 2,5–4, vidutiniškai 3,4.
5. Virimo temperatūra 38–204 °C.
6. Užšalimo temperatūra žemesnė nei –40 °C.
7. Pliūpsnio temperatūra (uždengtame tiglyje) nuo –45 °C iki –11 °C.
8. Savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra 255–492 °C.
9. Garų susidarymo savitoji šiluma 208–250 kJ/l.
10. Sudegimo šiluma 45 800–47 600 kJ/kg.
11. Degimo greitis (atviroje erdvėje) 3–6 l/m²min.
12. Benzino degimo greitis į gylį (išdegimas) per valandą 152–305 mm.
13. Žibalo degimo greitis į gylį (išdegimas) per valandą 127–203 mm.
14. Apie 13 mm gylio benzino bala savarankiškai gali išdegti per 2,5–5 min.
15. Liepsnos plitimo ribos (tūrio dalimis): C_A – 0,76 %; C_V – 8,12 %. Didžiausios galios sprogimas, kai koncentracija siekia 2,25 %.
16. Liepsnos plitimo temperatūrinės ribos: (–45)–(–24) °C atitinkamai esant apatinei ir viršutinei užsiliepsnojimo koncentracinėms riboms.
17. Riboto sprogimo slėgis: esant benzino garų koncentracijai 1,3 % tūrio ore – 397 kPa; esant 2,25 % – 745 kPa; esant 4 % – 231 kPa.
18. Neriboto sprogimo slėgis – 355 kPa.

19. Sprogimo laikas – 0,026 s esant maksimaliam slėgiui.
20. Liepsnos plitimo greitis oro ir garų mišinyje – 4,58 m/s.
21. Garų pasklidimas nesant vėjo – 122 m.
22. 6 % oro ir garų mišinio sprogimo energija atitinkamai: 1495 kJ vienam kg skysčio; 307 kJ vienam m³ oro ir garų mišinio. 6 % oro ir garų mišinio maksimalios sprogimo energijos apskaičiavimas su sąlyga, kad visiškai benzino garų sudegimas normaliomis sąlygomis sudaro apie 13 500 kJ vienam m³.
23. Garų kiekis gaunamas iš 1 litro skysčio – 0,222 m³.
24. Oro ir garų mišinio, turinčio 1,3 % benzino garų, kiekis (17,08 m³) gaunamas iš 1 litro skysčio esant 20 °C.
25. Toksinis garų pavojus: 2,4 % benzino garų kiekis ore sukelia mirtį daugeliui gyvūnų per labai trumpą laikotarpį. Esant benzino garams ore nuo 1,1 iki 2,2 % apsinuodijimas įvyksta po 30–60 min. Esant koncentracijai nuo 0,43 iki 0,71 %, apsinuodijimas galimas po 1 val.

Gamtinių dujų sudėties ir savybių duomenys: gamtinių dujų sudėtyje yra apytiksliai 85 % metano, 9 % etano, 3 % propano, 2 % azoto ir 1 % butano. Etano buvimas gamtinių dujų sudėtyje sudaro galimybę jas atpažinti (skirtingai nei kanalizacijos dujos); gamtinių dujų savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra yra nuo 482 iki 632 °C; liepsnos plitimo ribos: C_A – 4,5 tūrio %, C_V – 14,5 tūrio %. Didžiausias sprogimo pavojus tenka stochiometriniam gamtinių dujų ir oro mišiniui, esant atitinkamam 9,5 % ir 90,5 % santykiui. Gamtinių dujų deflagracinio degimo greitis apie 0,3 m/s. Įvykus sprogimui prie AUKR galima rasti sprogo statinio nuolaužas 1,5 m spinduliu, o esant optimaliai sprogimo koncentracijai (gamtinėms dujoms 9,5 %) nuolaužos išsibarsto apie 30 m.

9. Pažeidimai kilus sprogimui

Nr.	Slėgis P_s , kPa	Pažeidimo lygis
1	0,1	Erzinantis žemų dažnių (10–15 atskaitų per sekundę) garsas (137 decibelai).
2	0,2	Kartais dėl deformacijos dūžta didelių langų stiklai.
3	0,3 0,5	Didelis garsas (143 decibelai); dūžta stiklai; pažeidžiama 5 proc. įstiklinimo.
4	1,1	Tipinis slėgis, sukeliantis langų dužimą.
5	2,1	„Saugus atstumas“ (žemesnis slėgis nesukelia rimtesnių pažeidimų). Pažeidžiami namų apkalimai; dūžta iki 10 proc. langų stiklų.
6	2,8	Nežymiai pažeidžiamos konstrukcijos.
7	4,0	Pažeidžiama iki 90 proc. įstiklinimų, kartais pažeidžiami langų rėmai. Pažymėtina, kad netinkamai įstiklinti langai pažeidžiami, kai slėgis yra 7,1 kPa, o gerai įstiklinti langai nepažeidžiami net ir slėgiui pasiekus 14 kPa.
8	5,0	Nežymiai pažeidžiamos namų konstrukcijos.
9	7,2	Iš dalies pažeidžiami namai iki negyvenamos būklės.
10	8,5	Sunaikinamas gofruotas asbestas. Gofruotų arba aliuminio skydų tvirtinimai silpnėja, todėl skydai deformuojasi. Mediniai skydai (naudojami namams statyti) ne tik silpnėja tvirtinimo vietose, bet ir subyra.
11	9,2	Pastatų plieno konstrukcijos šiek tiek išsilenkia.
12	14,2	Namų sienos ir stogai iš dalies sugriūna.
13	14,2–21,4	Sugriūna nesutvirtintos betono ir šlakinių blokelių sienos.
14	16,4	Apatinė rimtų konstrukcijų pažeidimų riba.
15	17,8	Sugriūna 50 proc. pastatų plytų mūro.
16	21,4	Sunkiosios mašinos (1,35 t svorio) pramoniniuose pastatuose nestipriai pažeidžiamos. Pastatų plieno konstrukcijos deformuojasi ir išsilupa iš pamato.

Nr.	Slėgis P_s , kPa	Pažeidimo lygis
17	21,4–28,5	Sugriūna bekarkasiai statiniai, sukniedyti iš plieno skydų. Sugriūna tankai-alyvos saugyklos.
18	28,5	Nutrūksta lengvų pramoninių pastatų dangos.
19	35,6	Sutrūkinėja mediniai stulpai (telegrafo ir kt.). Šiek tiek pažeidžiami aukšti hidrauliniai presai (1,8 t svorio).
20	35,6–49,9	Beveik visiškai sugriūna namai.
21	49,9	Apsiverčia sunkiai pakrauti geležinkelio vagonai.
22	49,9–57,0	Dėl poslinkio arba išsilenkimo netenka patvarumo 200–300 mm storio nesutvirtintos plytų sienos.
23	64,1	Visiškai sugriūna sunkūs geležinkelio vagonai.
24	70,0	Sugriūna daugiau kaip 75 proc. pastatų vidinio plytų mūro.
25	71,2	Gali visiškai sugriūti pastatai. Sunkios (daugiau kaip 3 t svorio) mašinos ir staklės pasislenka ir stipriai pažeidžiamos. Labai sunkios (daugiau kaip 5 t svorio) mašinos ir staklės išlieka.
26	2137,0	Pažeidimai susidarant krateriui.

LITERATŪRA

- Čyras, P.; Dubonis, R.; Šukys, R. 2003. *Civilinė sauga*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika.
- Drysdale, D. 1990. *An Introduction to Fire Dynamics*. Second edition. Edinburg.
- Griškevičius, M.; Šukys, R.; Čyras, P. 2007. *Gaisrinė sauga ir gelbėjimo darbai*: vadovėlis. Vilnius: Technika.
- Hazardous materials for first responders*. 1988. Department Board of Reagents, Oklahoma State University.
- Mačiulaitis, R. 1994. *Priešgaisrinė profilaktika technologiniuose procesuose*: laboratoriniai darbai. Vilnius: Technika.
- Mačiulaitis, R. 1996. *Gaisro ir sprogimo pavojaus technologiniuose procesuose įvertinimo būdai*: laboratoriniai darbai. Vilnius: Technika.
- Mačiulaitis, R. 2001. *Gaisro ir sprogimo pavojaus gamybos procese analizė ir prevencija*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika.
- Mačiulaitis, R.; Lukošius, K. 2005. *Medžiagų gaisro ir sprogimo pavojaus įvertinimas*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika.
- Mačiulaitis, R. 2010. *Gaisro ir sprogimo pavojus gamybos procesuose*: vadovėlis. Vilnius: Technika.
- Zaleckienė, E. 2009. *Degimo procesai*: vadovėlis. Vilnius: Technika.
- Žukas, A.; Mačiulaitis, R.; Šukys, R. 2007. *Statybos produktų panaudojimo gaisrinė sauga*. Vilnius: Technika
- Абрамович, Б. Г. 1972. *Термоиндикаторы и их применение*. Москва.
- Адамсон, А. 1979. *Физическая химия поверхностей*. Москва.
- Алексеев, М. В.; Волков, О. М.; Шатров, Н. Ф. 1986. *Пожарная профилактика технологических процессов производств*. Москва.

- Баратова, А. Н.; Корольченко, А. Я. 1990. *Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения*. 1 том. Москва.
- Баратова, А. Н.; Корольченко, А. Я. 1990. *Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения*. 2 том. Москва.
- Волков, О. М. 1984. *Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами*. Москва.
- Водяник, В. И. 1975. *Предохранительные устройства для защиты химического оборудования*. Москва.
- Водяник, В. И. 1983. *Пожаробезопасные технические моющие средства*: каталог. Москва.
- Лабораторные работы и домашние задания по курсу «Пожарная профилактика технологических процессов производств». 1986. Под редакцией к. т. н. В. П. Сучкова. Москва.
- Ланге, К. Р. 2007. *Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ, применение*. Санкт-Петербург.
- Ольховский, Н. Е. 1976. *Предохранительные мембраны для защиты оборудования в химической и нефтеперерабатывающей промышленности*. Москва.
- Таубкин, С. И. 1999. *Пожар и взрыв, особенности их экспертизы*. Москва.
- Тименский, М. Н.; Зуйков, Г. М. 1982. *Контрольно-измерительные приборы для противопожарной и противовзрывной защиты*. Ленинград.
- Фролов, Ю. Г. 1982. *Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы*. Москва.