

# 1 laboratorinis darbas

## 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 sprogo pavojus atsiranda įvykus avarijoms, kai iš aparatų, vamzdynų, 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 ( $\sigma$ ) galime apibūdinti kaip paviršiaus energijos intensyvumo veiksnį, charakterizuojantį tarpfazinį, nekompensuotą tarpmolekulinių jėgų lauką. Termodinamiškai paviršiaus įtempimas yra dalinė bet kurio termodinaminio potencialo išvestinė ( $\partial$ ) tarpfazinio paviršiaus plotui ( $S$ ), esant kitiems (temperatūros  $T$ , slėgio  $p$ ) pastoviems rodikliams. Paprasčiausiai šį dydį galima išreikšti per Gibso energiją ( $\xi$ ) 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.

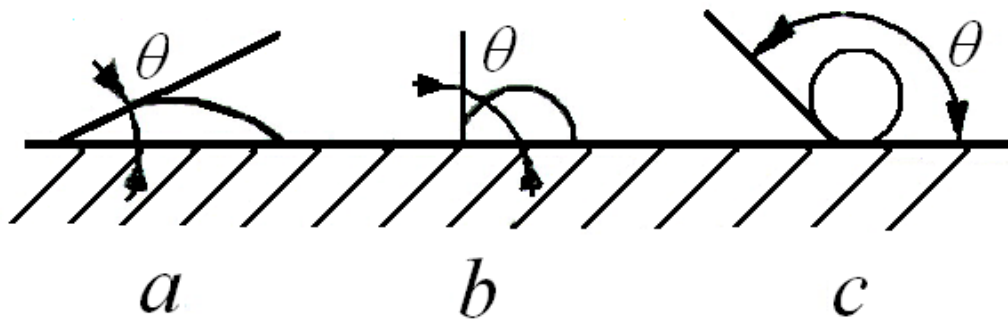
Skysčio sąveiką su kietojo kūno ar skysčio paviršiumi galima apibūdinti ir daugeliu kitų rodiklių, kurie lemia pačio jų kontaktavimo proceso ypatumus. Tai energetiniai absorbcijos rodikliai, kokybinės kohezijos ir adhezijos charakteristikos, drėkinimo šiluma,

drėkinimo kampas. Pagal tokius rodiklius galima detaliau paaiškinti skysčių sklidimo kitais paviršiais mechanizmo ypatumus.

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

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

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



**1 pav.** Kieto paviršiaus, drėkinamo skysčiu, įvairūs atvejai:  
a)  $\theta < 90^\circ$ ; 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  $90^\circ$ , drėkinamą paviršių vadinti oleofobiniu (hidrofiliniu). O kai toks kampas didesnis kaip  $90^\circ$  arba lygus  $90^\circ$ , 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 lėšius. 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 m<sup>2</sup> grindų, o tirpiklių ant 1 m<sup>2</sup> grindų. Tačiau mokslinėse publikacijose yra tikslesnių duomenų apie skysčių sklidimą ant kietų paviršių priklausomai nuo įvairių veiksnių. Pavyzdžiui, vieną kartą išsiliejus nedideliame įvairaus klampumo ( $\nu$ ) naftos perdirbimo produktų (tepalai, dyzelinis kuras, benzinas) kiekiui ( $V$ ), galima, žinant sklidimo laiką ( $\tau$ ), prognozuoti pasklidimo spindulį ( $r$ ) pagal formulę:

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

Nepertraukiamo 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:

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

čia  $\theta$  – drėkinimo kampas,  $\rho$  – skysčio tankis;  $g$  – laisvo kūno kritimo pagreitis;  $\sigma$  – skysčio paviršiaus įtempimas;  $V$  – išsiliejusio skysčio tūris;  $K_p$  – palyginimo koeficientas.

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

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

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

Eksperimentu nustatius proporcingumo koeficientą, naudojant tą patį skystį, stiklui ( $k_0$ ) ir kitai kietajai medžiagai ( $k$ ) galima apskaičiuoti palyginamąjį koeficientą ( $K_p$ ):

$$K_p = k / k_0 . \quad (8)$$

Išsiliejusio ir pasklidusio skysčio sklidimo storį ( $\delta$ ) galima apskaičiuoti taip:

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

Jeigu žinomas skysčio sklidimo ant stiklo koeficientas ( $k_0$ ), palyginamasis koeficientas ( $K_p$ ) ir išsiliejusio skysčio tūris ( $V$ ), tai pasklidusio skysčio paviršiaus plotą galima apskaičiuoti taip:

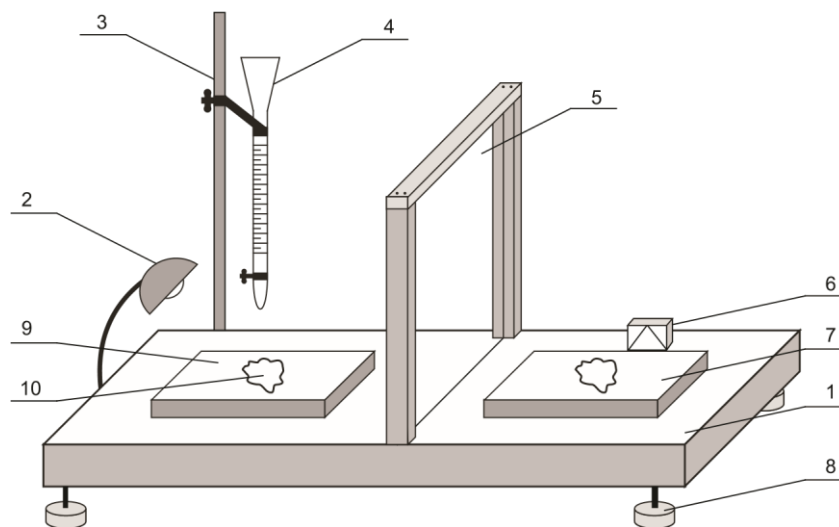
$$S = K_p k_0 V . \quad (10)$$

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).



**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,  $1 \text{ cm}^3$ ) 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  $30 \text{ cm}^3$  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 tarpfazinį 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 <sup>3</sup>            |                  |   |   |   |   |
| 2        | Skysčio, pasklidusio ant stiklo, paviršiaus plotas ( $S \cdot 10^{-4}$ ) m <sup>2</sup> |                  |   |   |   |   |
| 3        | Skysčio, išsiliejusio ant _____, tūris ( $V \cdot 10^{-6}$ ) m <sup>3</sup>             |                  |   |   |   |   |
| 4        | Skysčio, pasklidusio ant _____, paviršiaus plotas ( $S \cdot 10^{-4}$ ) m <sup>2</sup>  |                  |   |   |   |   |

**1.2 lentelė.** Eksperimentinių duomenų apdorojimo rezultatai

| Eil. Nr. | Rodikliai, charakterizuojantys skysčio sklidimą | Sklidimas ant |            |
|----------|---|---------------|------------|
|          |   | Stiklo        | _____      |
| 1        | Proporcingumo koeficientas m <sup>-1</sup>      | $k_0 =$       | $k =$      |
| 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.