

Tarpfazinio paviršiaus trinties dvifazėje tėkmėje nustatymas

1. Vienfazio *Fluent* modelio panaudojimas

Stasys Gasiūnas,

Marijus Šeporaitis,

Raimondas Pabarčius

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinių įrenginių saugos
laboratorija, Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas
El. paštas: stasys@mail.lei.lt*

Šiame straipsnyje pristatomas tarpfazinio paviršiaus trinties dvifazėje dujų–skysčio tėkmėje nustatymo metodas. Tarpfazinei trintčiai nustatyti pasitelkiamas vienfazis trimatis modelis, sukurtas *Fluent 6.0* programų paketu. *Fluent* modeliu skaičiuojama tik dujinė tėkmės fazė darant prielaidą, kad visos sienelės, išskyrus apatinę, yra hidrodinamiškai lygios. Apatinės sienelės šurkštumas priartėjimo būdu keičiamas tol, kol gaunamas greičio profilio atitikimas eksperimentų metu išmatuotam profiliui. Taikant šią metodiką ir turint eksperimentinius dujų greičio matavimus gana paprastas *Fluent* modelis gali išvesti tarpfazinę trintį.

Raktažodžiai: stratifikuotas dvifazis tekėjimas, horizontalus kanalas, dujų–skysčio tėkmė, tarpfazinė trintis

1. ĮVADAS

Izoterminiu atveju tarpfazinis paviršius tarp skystos ir dujinės fazių išsilaiko hidrodinamiškai stabilus tik esant mažiems fluidų tėkmių greičiams. Vos tik tėkmių greičiai padidėja, tarpfazinis paviršius praranda hidrodinaminį stabilumą, t. y. keičiasi jo forma ir plotas. Galiausiai pradeda formuotis antriniai tekėjimai ir maži sukuriukai apie paviršiaus nelygumus. Todėl matematinis tarpfazinės trinties nustatymas yra sudėtingas uždavinys, o jo rezultatai kartais labai apytiksliai. Taip yra ir mūsų nagrinėjamu atveju, kai horizontaliu kanalu stratifikuotai teka vanduo ir oras bei vanduo ir garas. Uždavinio sprendimą apsunkina kondensacija ir vandens paviršiuje besiformuojančios bangos, kurių aukštis tėkmės viduryje ir prie sienelės nėra vienodas. Vandens paviršiuje bangos pradeda formuotis esant greičio gradientui tarp vandens ir virš jo tekančių dujų (oro ar garo). Bangų formavimasis prasideda esant vidutiniam 4 m/s greičio skirtumui (slėgis atmosferos) tarp vandens ir oro [1]. Didėjant oro ar garo tėkmės greičiui, vandens paviršiuje sukeliama vis aukštesnės bangos, kartu keičiasi ir bangų ilgis.

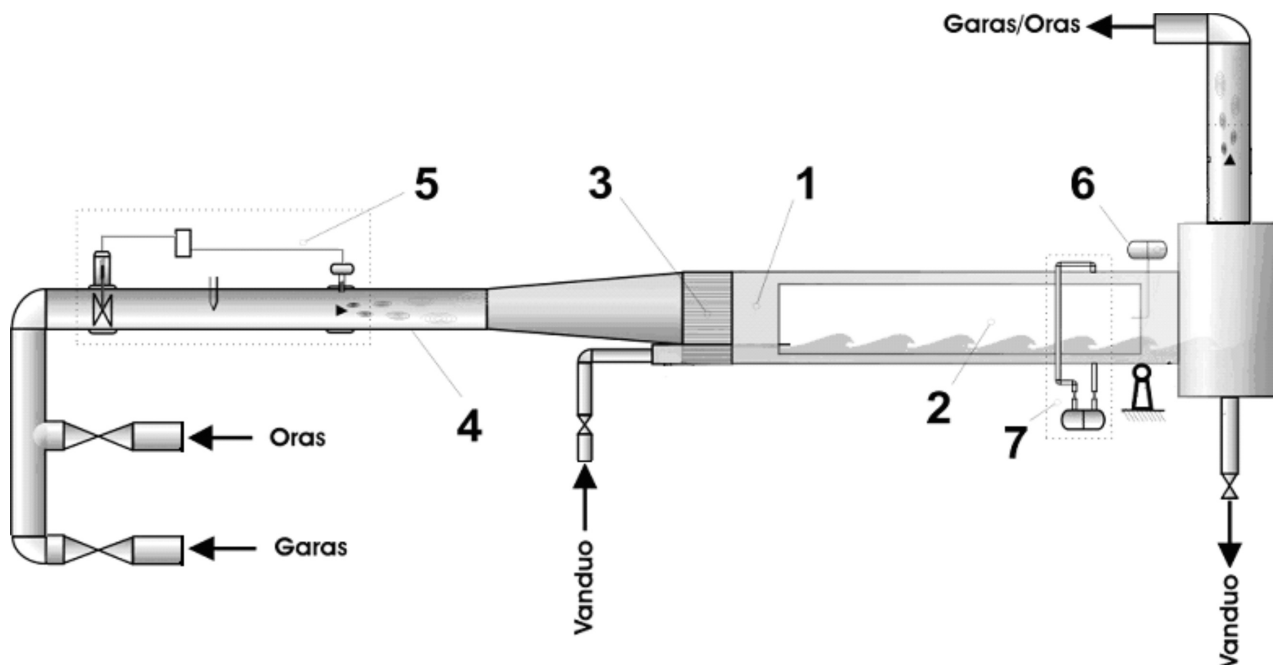
Pirmajame straipsnių serijos „Tarpfazinio paviršiaus trinties dvifazėje tėkmėje nustatymas“ straipsnyje pristatomas tarpfazinės trinties nustatymo būdas, susidedantis iš dviejų etapų: dujinės fazės greičio lauko išmatavimo ir skaitinio modeliavimo. Dujų greičio profilis matuojamas nusistovėjusio tekėjimo srityje, vertikaloje ašyje. Matuojama nuo viršutinės kanalo sienelės iki vandens paviršiaus. Skaitinis modeliavimas atliekamas naudojant *Fluent* programų paketą. Sukurtas nesudėtingas trimatis vienfazis modelis, kuriuo skaičiuojama tik dujinė tėkmės fazė. Skaitiniame modelyje pagal eksperimentiškai išmatuotus greičio profilius, koreguojant apatinės sienelės šurkštumą, nustatoma tarpfazinė dujų skysčio trintis.

2. EKSPERIMENTINIS STENDAS

Eksperimentiniams tyrimams atlikti sukonstruotas horizontalus stačiakampis kanalas (1 pav.). Jo ilgis 1200 mm, plotis 20 mm, aukštis 100 mm. Tyrimų stendas pagamintas iš nerūdijančio plieno, jo šonuose sumontuoti skaidrūs stiklai. Jo sienelės yra glotnios (paviršiaus šurkštumas ne didesnis kaip 0,02 mm). Oras į kanalą tiekiamas įvadiniu vamzdžiu, kurio vidinis skersmuo 27 mm. Kanalo pradžioje įmontuotas korys, sudarytas iš oro tėkmei lygiagrečių kvadratinių kanaliukų. Kanaliukų koryje yra ~850, jų plotis ~1 mm, ilgis 95 mm. Šio korio dėka kanalo įtekėjimo skerspjūvyje formuojamas stačiakampis greičio profilis. Eksperimentai atliekami į kanalą įleidus 6×10^{-4} m³ vandens, kurio lygis išlaikomas 25 mm. Virš laisvai besideformuojančio vandens paviršiaus pučiamas oras, kuris laisvai išteka kanalo pabaigoje, o pučiant garą jis atskiriamas nuo vandens separatoriuje, sumontuotame kanalo gale, ir laisvai pašalinamas garo šalinimo vamzdynu.

Įtekančio į kanalą oro / garo kiekis nustatomas sukuriniu srauto matuokliu (Endress + Hauser Proline Prowirl 72), sumontuotu įvadiniame vamzdyje. Į kanalą įtekančio oro srautas reguliuojamas vožtuvu su elektromechanine pavara. Oro temperatūra matuojama chromelio–aliumelio termopora. Oro ir garo greitis kanale matuojamas Pito vamzdeliu, sujungtu su elektroniniu skirtuminio slėgio matuokliu (Fuji Electric FCX-AII). Pito vamzdeliu eksperimentų metu matuojami oro ir garo greičiai sieks 1–6 m/s. Oro ir garo greitis matuojamas kanalo skerspjūvyje, nutolusiame 1000 mm nuo jo pradžios ($x/d_{ekv} = 32$). Matuojama pagal vertikalią skerspjūvio ašį nuo viršutinės kanalo sienelės iki vandens paviršiaus.

Eksperimentus numatyta atlikti esant vidutiniams oro ir garo tekėjimo greičiams nuo 4 iki 6 m/s.



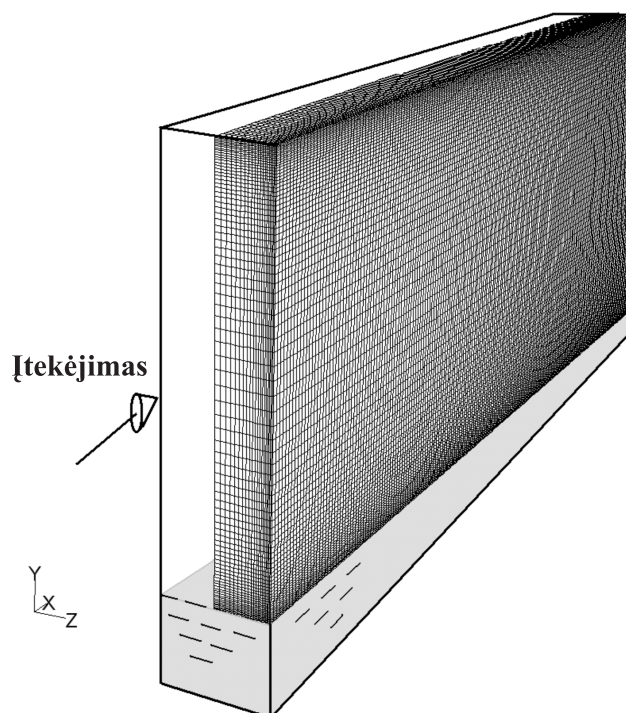
1 pav. Eksperimentinis stendas. 1 – stačiakampis kanalas; 2 – apžiūros langai; 3 – korys; 4 – įvadinis vamzdis; 5 – tiekiamo dujų srauto matavimo-reguliavimo mazgas (sūkūrinis srauto matuoklis, reguliuojantis vožtuvas su servo pavara, PID reguliatorius, termopora); 6 – Pito vamzdelis; 7 – vandens slėgio pulsacijų matuoklis

3. SKAITINIS MODELIS

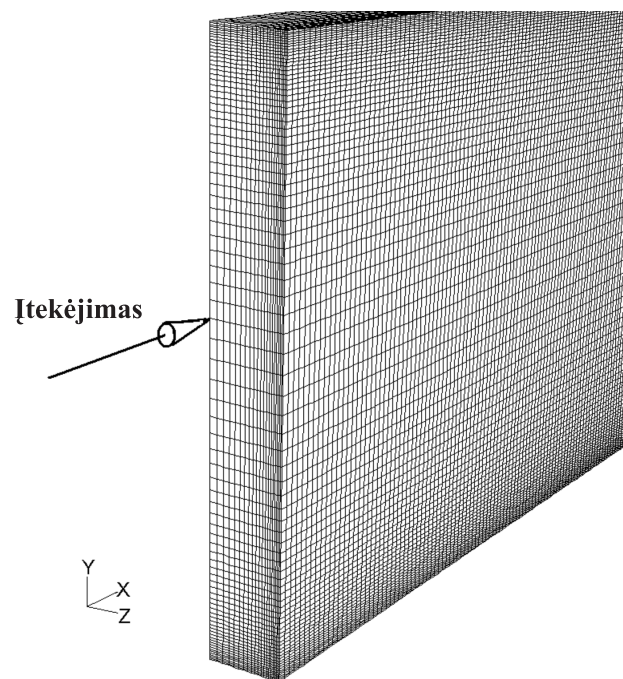
Šiame darbe naudotas *Fluent 6.0* skaičiuojamosios hidrodinamikos programų paketas [2], plačiai taikomas fluideo tėkmėms ir šilumos perdavimui sudėtingose sistemose modeliuoti. *Fluent* programų paketu sukurtas kanalo modelis, kurio tinklelis pavaizduotas 2 paveiksle. Platesnė informacija apie skaitinį modelį pateikiama literatūroje [3]. 2 paveiksle parodyti viso kanalo vidinės ertmės kontūrai, o sudaryto vienfazio trimačio modelio skaičiavimo sritis išskirta juodais langeliais. Skaičiavimo sritis padalyta

apytiksliai į 2×10^6 elementų. Siekiant sutaupyti skaičiavimo laiko, elementai prie sienelės sukurti smulkesni, o kanalo centre stambesni (3 pav.). Todėl elementų dydis kinta nuo 0,2 iki 2,5 mm.

Nagrinėjamu atveju įtekėjime į kanalą numatoma 6 m/s greičio ir $T = 288$ K temperatūros atmosferos slėgio oro tėkmė su tolygiu pagal skerspjūvį greičio lauku. Kadangi oro tėkmė turbulencinė ($Re = 12970$), modeliuojant buvo naudojamas standartinis $k-\omega$ turbulencijos modelis. Šiuo turbulencijos modeliu apskaičiuojama ne tik turbulencinė tekėjimo sritis, bet ir laminarinė pasienio sritis (elementai prie sienelės turi būti susmulkinti iki $y^+ \leq 4-5$).



2 pav. Eksperimentinio kanalo bendras vaizdas ir tamsiau išskirta skaičiavimo sritis

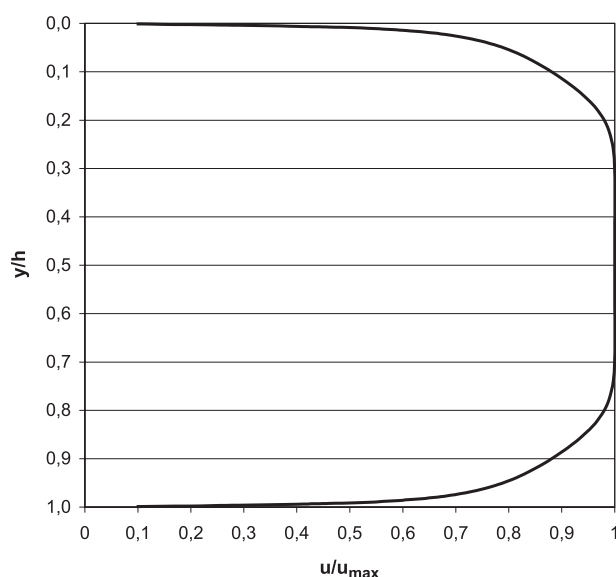


3 pav. Modelio tinklelis

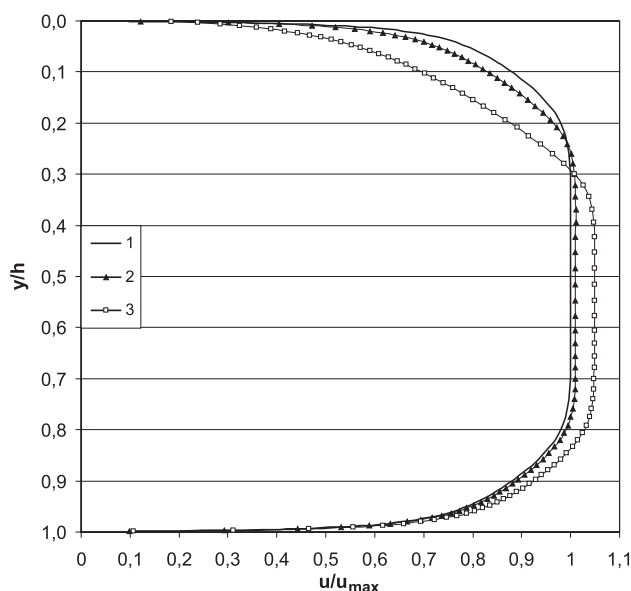
4. REZULTATAI

Tarpfazinę trintį ketiname nustatyti naudodami trimatę fluidų dinamikos skaičiavimo programą. Mūsų atveju naudojamas *Fluent* programų paketas, kuriuo sudarytas nesudėtingas eksperimentinio ruožo trimatis vienfazis skaitinis modelis. Skaitinis modelis sudarytas kanalu tekančiai dujų terpei, taigi jis yra vienfazis. Apskaičiavus šiuo modeliu oro tėkmę kanale tarp visų lygių kietų sienelių, gautas simetriškas greičio profilis. Paveiksle 4 parodytas simetriškas greičio profilis nusistovėjusio tekėjimo srityje ($x/D = 32$).

Tekant orui virš vandens didesniu kaip 4 m/s greičiu, jo paviršiuje sukliamos bangos. Taigi apatinis kanalo paviršius tampa nebe lygus ir keičia paviršiaus formą bei plotą dėl oro tėkmės greičio. Dėl vandens paviršiaus nepastovumo negalime sukurti skaitiniam modeliui šio paviršiaus formos. O naudojant *Fluent* programų pakete siūlomą laisvo paviršiaus modelį (VOF), daro-



4 pav. Apskaičiuotas greičio profilis tarp visų lygių sienelių ($u_{vid} = 6$ m/s)



5 pav. Apskaičiuoti greičio profiliai, esant skirtingam apatinės sienelės šiurkštumui ($u_{vid} = 6$ m/s). 1 – lygi sienelė; 2 – 1 mm šiurkštumas; 3 – 2 mm šiurkštumas

mos pernelyg didelės paklaidos. Programos kūrėjai nėra atlikę palyginamųjų skaičiavimų tekėjimo atveju, kuomet bangos vandens paviršiuje sukliamos dėl oro tėkmės. Todėl, siekdami nustatyti tarpfazinę trintį, naudosime trimatį vienfazės dujų tėkmės modelį, darydami prielaidą, kad visos sienelės, išskyrus apatinę, yra hidrodinamiškai lygios. Modelyje bus keičiamas jos šiurkštumas. Parodyti apskaičiuoti greičio profiliai nusistovėjusio tekėjimo srityje ($x/d = 32$), esant didesnio šiurkštumo apatinei sienieli (5 pav.). Modeliuojama, jog oras teka tarp visų lygių kietų sienelių, išskyrus apatinę, kurios šiurkštumas yra atitinkamai 1 ir 2 mm.

Apatinės sienelės šiurkštumas keičiamas priartėjimo būdu tol, kol gaunamas didžiausias apskaičiuoto greičio profilio panašumas į išmatuotąjį dujų–skysčio tėkmėje. Turint skaitinį modelį su tinkamai parinktu apatinės sienelės šiurkštumu, programa gali išvesti oro su apatine sienele tarpfazinę trintį. Šią trintį prilyginame tarpfazinei dujų–skysčio trinciai eksperimentiniame ruože.

Šiuo tarpfazinės trinties nustatymo metodu lengviau nustatoma dujų–skysčio tarpfazinė trintis. Nesugaištama daug laiko kuriant sudėtingą trimatį dvifazės tėkmės modelį.

Šio straipsnio tęsinyje numatoma apibūdinti išmatuotus dujų greičio profilius kanale, dujoms tekant virš vandens paviršiaus, pateikti nustatytą tarpfazinę dujų–skysčio trintį remiantis išmatuotais greičio profiliais ir skaitiniu modeliavimu pagal anksčiau išdėstytą metodą.

5. IŠVADOS

1. Pateikiama tarpfazinės dujų – skysčio trinties nustatymo metodas, susidedantis iš dviejų etapų: dujinės fazės greičio lauko išmatavimo ir nesudėtingo vienfazės tėkmės skaitinio modeliavimo.

2. Ši tarpfazinės trinties nustatymo metodika nereikalauja sudėtingo dvifazės tėkmės modeliavimo, nes pakanka vienfazės tėkmės trimačio modeliavimo fluidų dinamikos programų paketu.

Žymėjimai

h – kanalo aukštis m;

a – kanalo plotis m;

x – atstumas nuo kanalo pradžios (ašinė koordinatė) m;

y – skersinė koordinatė m;

d_{ekv} – oro pratekėjimo ekvivalentinis skersmuo, $d_{ekv} = (4 \cdot A) / P$, m;

A – oro pratekėjimo skerspjūvio plotas m²;

P – oro pratekėjimo skerspjūvio perimetras m;

u – greitis m/s;

ρ – tankis kg/m³;

y^+ – bedimensinė koordinatė;

Re – Reynoldso skaičius.

Indeksai

vid – vidutinis;

max – didžiausias.

Gauta 2007 09 12

Priimta 2008 05 30

Literatūra

1. Šeporaitis M., Pabarčius R., Almenas K. Eksperimentinis įrenginys tirti kondensacijos įtaką dvifaziam stratifikuotam tekėjimui // Energetika. 2005. Nr. 2. P. 1–7.
2. FLUENT 6.0 Code Manual, Fluent Inc., 2001.
3. Gasiūnas S. Eksperimentinio įrenginio – horizontalaus kanalo modeliavimas FLUENT programiniu paketu // LEI doktorantų kasmetinė-ataskaitinės konferencijos pranešimų medžiaga, 2004 m. rugsėjo 30 d. Kaunas, 2004.

Stasys Gasiūnas, Marijus Šeporaitis, Raimondas Pabarčius

ESTIMATION OF INTERFACIAL SHEAR IN THE TWO-PHASE FLOW

1. APPLICATION OF THE SINGLE-PHASE FLUENT MODEL

Summary

The paper presents a method for evaluating the interfacial shear in a two-phase flow. To determine the interfacial shear, the single-phase 3D model for the *Fluent 6.0* code is used. In the *Fluent* model, only the gas phase of the flow is calculated, assuming that all walls except the bottom wall are smooth. The roughness of the bottom wall is adjusted until the modelling results match with the measured velocity profile. Applying this methodol-

ogy and having the measured velocity profiles, the simple *Fluent* model provides the possibility to calculate the interfacial friction.

Key words: stratified two-phase flow, horizontal channel, gas–liquid flow, interfacial shear

Стасис Гасюнас, Мариюс Шепорайтис, Раймондас Пабарчюс

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖФАЗНОГО ТРЕНИЯ В ДВУХФАЗНОМ ПОТОКЕ

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ МОДЕЛИ FLUENT

Резюме

Представлен метод определения межфазного трения в двухфазном потоке газ–жидкость. Для определения использована однофазная трехмерная модель, созданная с помощью программного пакета FLUENT 6.0. В модели Fluent рассчитана только газовая фаза потока при условии, что все стенки, кроме нижней, гидродинамически гладкие. Шероховатость нижней стенки меняется до тех пор, пока рассчитанный профиль скорости не станет соответствовать измеренному. С использованием профиля скорости довольно простая модель Fluent позволяет определить межфазное трение.

Ключевые слова: стратифицированный двухфазный поток, поток газ–жидкость, горизонтальный канал, межфазное трение