

Eksperimentinis ėrenginys tirti kondensacijos ėtakà dvifaziam stratifikuotam tekėjimui

Marijus Ėporaitis,

Raimondas Pabarėius,

Kazys Almenas

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinių ėrenginių saugos laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas*

Straipsnyje apraðomas stendas, skirtas ištirti kondensacijos ėtakà dvifaziam stratifikuotam tekėjimui, ir pristatoma preliminari tyrimų programa bei metodika. Pirmieji patikrinamieji bandymai leido patobulinti tyrimų metodikà ir parodė, kad stende galima vizualiai stebėti ir fiksuoti stratifikuoto dvifazio tekėjimo tarpfazinio pavirđiaus formos pokyčius. Taip pat ėsitinkta, kad stende galima pasiekti tekėjimo rešimo kaitai reikiamus fazių greičius. Preliminarūs bangavimo intensyvumo priklausomybės nuo skirtingų oro ir vandens tekėjimo greičių tyrimo rezultatai atitinka kitų tyrėjų gautas sąlygas, kai stratifikuoto dvifazio tekėjimo rešimas pereina á banguotà. Tai leis vėlesnių tyrimų rezultatus palyginti su kitų tyrėjų darbais ŗioje srityje.

Raktaþodþiai: dvifazis tekėjimas, bangavimas, kondensacija

1. ÁVADAS

Analizuojant dvifazá tekėjimà būtina atsipvelgti á tarpfazinio paviršiaus elgsenà, nepusiausvyrinius efektus ir kitus fazių kaitos ypatumus. Ŗilumos ir masės mainų intensyvumas priklauso nuo temperatūrų skirtumo bei fazių sąlyėio plotà keičianėio tekėjimo rešimo. Dvifazio tekėjimo rešimo apskaiėiavimà apsunkina jo priklausomybė nuo pavirđiaus ėtempimo bei tai, kad tenka ėvertinti abiejų fazių inertiškumà, klampà ir plūdrumà. Dėl netiesiškumo, priklausomybės nuo turbulencijos, erdvinio pasiskirstymo ir laiko analitiškai apraðyti ŗilumos ir masės mainus yra sunku.

Ŗilumos ir masės perdavimà per dujų–skysėio tarpfaziná pavirđių veikiantys fundamentalūs mechanizmai yra svarbiausi modeliuojant komponentų sąlytá dvifazėse sistemose. Difuzija vykstantis mainų procesas (tirpių dujų absorbcija ar kondensacija) labiausiai priklauso nuo trinties ir/ar turbulencijos tarpfaziniame pavirđiuje. Ŗi sritis ypaė svarbi branduolinei ir chemijos inþinerijai. Pavyzdþiui, geras ŗilumos ir masės mainų per tarpfaziná pavirđių proceso supratimas yra esminis modeliuojant branduolinių jėgainių pasyvaus auđinimo sistemų ŗiluminę hidraulikà. Svarbu teisingai susieti mainų mechanizmus su pavirđine trintimi ir turbulencijos struktūra. Taėiau siekiant þinių apie ėvairių tipų dujų–skysėio mainus papangà stabdė ribotos matavimų ir skaiėiavimų galimybes. Todėl arti deformuojamų pavirđių, skirianėių nesimaiđanėias fazes, vykstanėiai turbulencijai skirta maþiau dėmesio uþ paprastesnà tekėjimà prie sienelės.

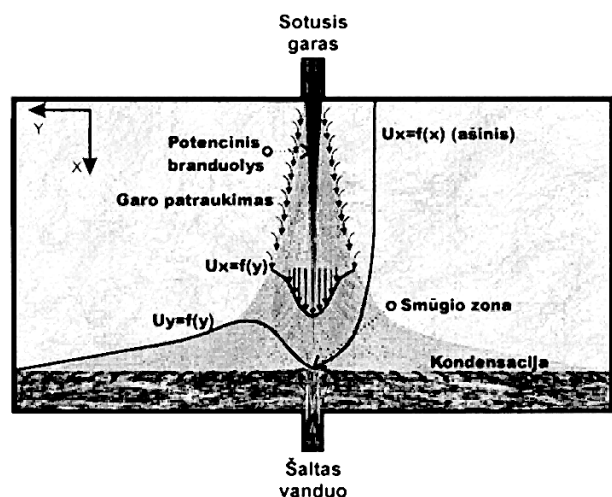
Puikios prie tarpfazinio pavirđiaus vykstanėių procesų eksperimentinių ir skaitinių tyrimų papangos apþvalgos yra padarytos [1, 2] darbuose. Matavimo technologijų tobulėjimas pastūmėjo ŗios srities plėtotà [1, 3–10]. Vis dėlto dar lieka daug neišsprastų klausimų apie molekulinio ir turbulencinio perneðimo sąveikà su perdavimo mechanizmais, ypaė kai sienelė neribojá tekėjimo ir dėl tarpfazinių pavirđių deformacijų kyla greičio fluktuacijos bei pavirđiaus bangos. Masės perdavimo á pavirđiaus turbulencinę struktūrà procesà mėginta apraðyti dviem būdais, t. y. panaudojant pavirđiaus atsinaujinimo teorijà ir taikant sūkurio difuzijos koncepcijà. Pavyzdþiui, eksperimentinė masės atidavimo greičio ir pavirđių atnaujinanėio judėjimo koreliacija buvo ėrodyta daugelyje prie oro–vandens pavirđiaus vėjo sukeliamos turbulencijos tyrimų [5, 11, 12]. Taip pat buvo pastebėta þenkli pavirđiaus bangų ėtaka ŗilumos ir masės mainų procesams [3] ir paaiðkinta tuo, kad dalis bangų iš vėjo gaunamos energijos yra perduodama á vandenyje arti pavirđiaus vykstanėià turbulencijà. Vienalaikis dvifazio stratifikuoto tekėjimo greičių lauko profilių matavimas tiek ore, tiek vandenyje buvo atliktas [1] darbe. Ŗio darbo rezultatai rodo, kad dėl oro–vandens sąveikos oro greičių lauko maksimumo plokðtuma pasislenka tarpfazinio pavirđiaus link bei kad vienos krypties stratifikuotoje dvifazėje tėkmėje oras þenkliai iðkraipo vandens greičio profilius.

Spartus skaiėiavimo technikos ir metodų tobulėjimas leido pradėti tirti tekėjimus naudojant Tiesioginá skaitiná modeliavimà (angl. Direct Numerical Simula-

tion, DNS) bei Didelio sūkurių modeliavimą (angl. Large Eddy Simulation, LES) atitraukiant á juos ir ne plokščias sienas. Pavyzdžiui, [13] darbe baigtinių skir-tumų DNS metodus taikytas modeliuoti tekėjimo struk-tūrai virš didelio bangos amplitudės ir ilgio santykio ($a/\lambda = 0,05$) sinusinio stacionarių bangų. Autoriai ga-vo dideles tėkmės atsiskyrimo sritis už bangų keterų. Darbo [14] autoriai panaudojo tariamą spektriną DNS tėkmei virš banguotos sienelės su $a/\lambda = 0,025$ ir $0,05$ modeliuoti ir gavo ženkliai banguotos sienelės átaką turbulencijos statistiniam pasiskirstymui ir vidutiniam tekėjimui. [15] darbo autoriai, taikydami spektrinių ele-mentų DNS tėkmei virš stacionarių sinusinių bangų su $a/\lambda = 0,05$ modeliuoti, ženkliai bangų átaką patvir-tino tik vidutiniam tekėjimui, o vietinė turbulencija, perskaičiavus ją didesniajam (efektyviajam) trinties grei-čiui, yra mažiau veikiamą. Tėkmės virš banguotos sie-nelės iki $a/\lambda = 0,1$ LES studija [16] galėjo pakartoti daugumą didelio reynoldso eksperimentuose stebėtų tekėjimo savybių. Nestacionarių sinusinių bangų átakos studijos, pasitelkiant DNS modeliavimą, yra ypač re-tos. Darbuose [17, 18] modeliuotos vidutiniu $Re = 8000$ tekančios bangos, kurių $a/\lambda = 0,016$, ženkliai veikė vidutiną tėkmę ir turbulencijos ypatybes. Auto-riai gavo, kad tekėjimo vietiniai hidrauliniai nuostoliai aptekant bangą bei pati tekėjimo forma (kritinio sluoksnio aukštis ir aptakumas) gerai koreliuoja su trinties greičiu. Taip pat šio darbo rezultatai parodė, kad, palyginus su stacionariomis, lėtai judančios bangos su-kelia didesnius, o greitai judančios – mažesnius vietinius hidraulinius nuostolius. Bangavimo sukeltas tem-peratūros laukas, veikiamas bangavimo sukulto greičio lauko, suformuoja teigiamas ir neigiamas sritis virš ban-gų keterų ir papėdžių, taip gaunant bangų sukeltą šilumos srautą, siekiantą 15% nuo bendro šilumos srau-to. Turbulencija prie tarpfazinio paviršiaus á DNS átrau-kiant dvifazį tekėjimą yra mažai analizuota. Buvo atlikti keli svarbūs darbai, skirti turbulencinės struktū-ros arti laisvų paviršių analizei vertinant ir nevertin-ant trinties átaką [2, 19, 20]. Jie tyrė stratifikuotą tekėjimą su laisvai deformuojamu paviršiumi kapilari-nių bangų rešimo atveju. Tačiau net ir esant nedide-liam dujų greičiui buvo pastebėti turbulencijos skirtu-mai prie sienelės ir prie skysčio paviršiaus. Tarpfazi-nio paviršiaus judėjimas veikia arti paviršiaus vykstan-čią turbulenciją slopindamas bendrą turbulencinių fluk-tuacijų lauką, o tai mažina paviršinę disipaciją. Taip pat nustatyta, kad prie tarpfazinio paviršiaus turbu-lencija yra mažiau anizotropinė nei prie sienelės ir kad turbulencinė kinetinė energija nenyksta artėjant prie paviršiaus. Tai kartu su sumažinta disipacija lei-džia daryti išvadą, kad turbulencinis aktyvumas išsilai-ko arti paviršiaus ir sustiprina turbulenciną perdavimą.

Deja, nepaisant ženklios pažangos, dvifazio tekė-jimo modeliuose kol kas yra naudojami skirtingos koreliacijos, kurios tinka tik ištirtam árenginiui ar pro-cesui. Universalus visus kondensacijos procesus apa-rašantis fizikinis modelis dar nėra išplėtotas.

Siekiant praplėsti žinias apie dvifazį tekėjimą, Lie-tuvos energetikos institute buvo atliekami kondensa-cijos plūpsnio tyrimai cilindriname inde (1 pav.) [21–23]. Analizuojant jų rezultatus buvo padaryta išvada, kad viena pagrindinių sąlygų kondensacijos plūps-niui atsirasti yra tarpfazinio paviršiaus hidrodinami-nis nestabilumas, kylantis dėl teigiamo grąžtamojo ry-šio tarp garo tėkmės impulso ir energijos perdavimo. Hidrodinaminis tarpfazinio paviršiaus nestabilumas at-siranda sukūrus palankias garo ir vandens átekmių geometrinės bei terminės sąlygas. Tėkmės galima pa-kreipti taip, kad reikiamu momentu lygiagrečiai van-dens paviršiui kryptimi U_y (1 pav.) garas pasiektų kritinį greitį, būtiną nestabilumui atsirasti. Pagal mokslinėje literatūroje paskelbtus eksperimentų re-zultatus [24–26] bei klasikinę Kelvin–Helmholtz te-oriją [27], sąlygos tarpfazinio paviršiaus nestabilumui atsiranda tik kai atskirų fazių tekėjimo greičių skir-tumas viršija 4 m/s. Tačiau tiek teorija, tiek dauguma skelbtų eksperimentų apima tik dvikomponentą dvi-fazį tekėjimą, t. y. kai nevertinama kondensacijos áta-ka. Taip pat mažai žinoma ir apie slėgio átaką tarp-fazinio paviršiaus nestabilumui atsirasti.



1 pav. Garo ir vandens átekmių elgsena vykstant konden-sacijai

Norint aiškiau suvokti dvifazio sistemų skirtu-mus, kai kartu su skysčiu teka nekondensuojamos arba kondensuojamos dujos, vienas iš analizės ke-lių būtų palyginti, kas vyksta vienu ir kitu atveju. Pagrindinis dvi- ir vienkomponentinio dvifazio tekė-jimo skirtumas yra tai, kad vienu atveju perduo-dama tik šiluma, kitu vyksta šilumos ir masės mainai. Vienkomponentiniame tekėjime vyrauja fazinio virsmo šilumos mainai, o dvikomponentiniame šilu-ma perduodama tik laidumu bei spinduliavimu. Ly-ginant dvifazį tekėjimą vamzdyje vien- ir dvikom-ponečiai tekėjimui skirtosi keliais esminiais as-pektais.

Apibūdinant dvikomponentą dvifazį tekėjimą pa-brėžtina tai, kad pagal tekėjimo kryptį:

1) adiabatinio tekėjimo atveju dujų ir skysčio srautai nekinta, tik dėl trinties nuostolių mažėja slėgis ir didėja tūrinis dujingumas;

2) nusistovėjusio adiabatinio tekėjimo atveju masinis dujingumas nekinta;

3) tiekiant / nukreipiant ąilumą kyla / krenta miđinio temperatūra ir kinta fizinės fazios savybės.

Vienkomponenėiame dvifaziame tekėjime pagal tekėjimo kryptą:

1) adiabatinio tekėjimo atveju nekinta tik bendrasis masės srautas;

2) nusistovėjusio adiabatinio tekėjimo atveju masinis garingumas kinta (daugelio fluidų didėja);

3) tiekiant / nukreipiant ąilumą tarp fazios vyksta masės mainai, taėiau jų miđinio tekėjimas yra beveik izoterminis, taigi beveik nekinta ir fluido fizinės savybės (išskyrus ilgus mažo skersmens kanalus, nes tekėjimui reikiamas slėgių skirtumas ąemina miđinio sotinimo temperatūrą).

2. EKSPERIMENTINIS STENDAS

Nagrinėjant anksėiau LEI atliktus kondensacijos pliūpsnio eksperimentus [21–23] ir atsivėlgiant ą anksėiau minėtus tekėjimų skirtumus iškelta hipotezė, kad slėgiui esant aukėtesniam uę atmosferos, stratifikuotas vienkomponentis dvifazis tekėjimas gali būti mažiau stabilus uę dvikomponentą ąiai ąvalgai patikrinti sukurtas specialus eksperimentinis stendas (2 pav.). Būsime tyrimė tikslas yra kondensacijos ątakos tarpfazinio pavirđiaus stabilumui nustatymas. Iškelti pagrindiniai klausimai, ąpibrėpiantys tyrimė sritą:

1) Koks yra fazios greiėio skirtumas kintant dvifazio tekėjimo reęimui?

2) Koks bangavimo intensyvumas ir kokie yra jo skirtumai esant vien- ir dvikomponenėiam dvifaziam tekėjimui kanale?

Norint atsakyti ą ąiuos klausimus, buvo numatyta keisti oro ir vandens tekėjimo greitą ir nustatyti, kaip nuo jų priklauso bangavimo intensyvumas bei tekėjimo reęimas. Vėliau analogišką priklausomybę nustatyti garo ir vandens tekėjime, ąvertinant ąilumos ir masės mainų priklausomybę nuo tekėjimo reęimo ir kitų parametrų. Todėl sukonstruotas tarpfazinės ąlyties tyrimė eksperimentinis stendas.

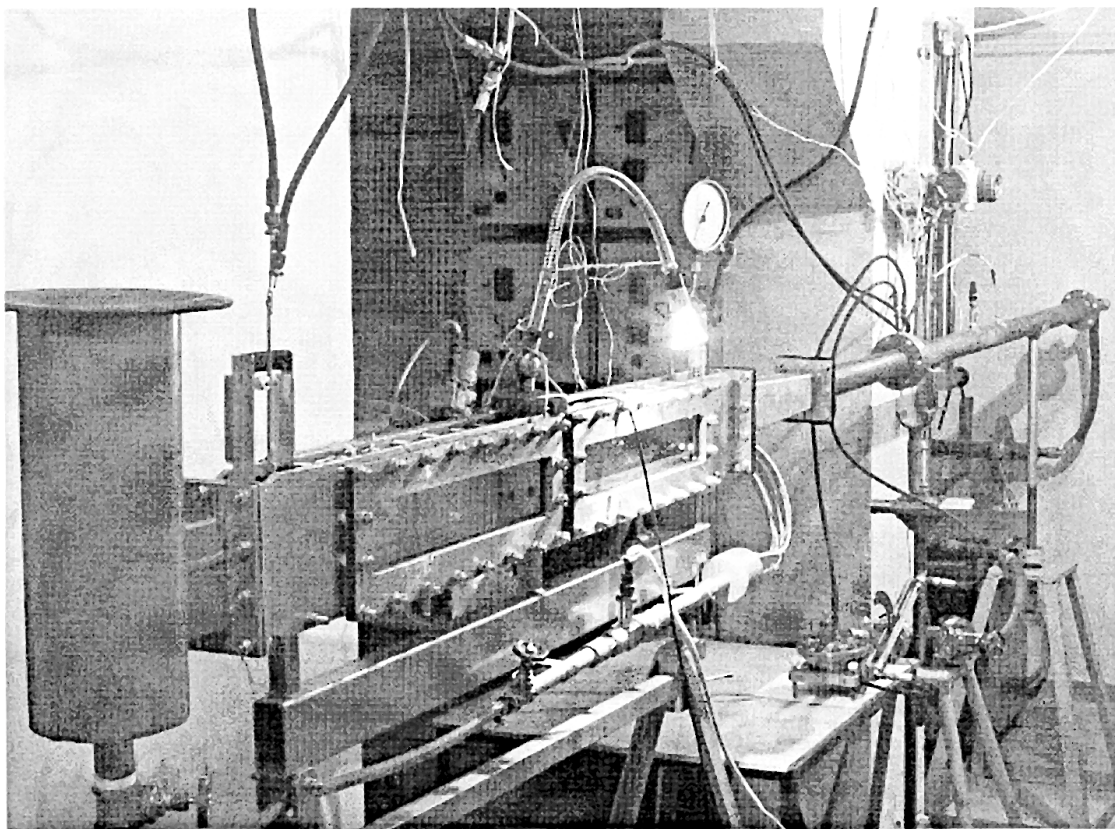
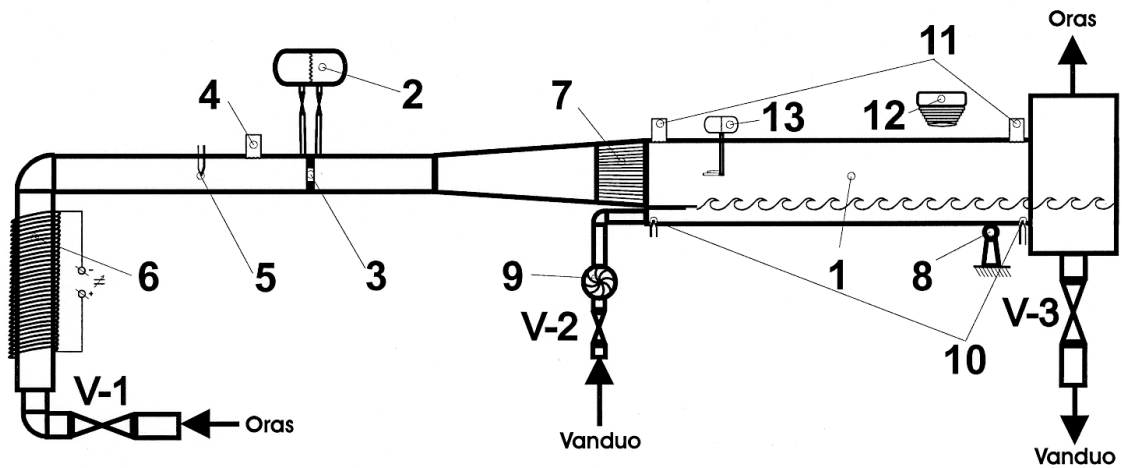
Eksperimentinio stendo pagrindinė dalis yra staėiakampis kanalas 1 (2 pav.), kurio matmenys (aukėtis 100 mm, plotis 50 mm, ilgis 1200 mm) parinkti taip, kad eksperimentė rezultatus bėt lengva palyginti su kitė tyrėjė darbais [4–6]. Staėiakampė kanalo forma patogi todėl, kad svyruojant vandens lygiui nominalusis tarpfazinio pavirđiaus plotas (nevertinant bangų ar nestratifikuotos būklės) nekinta. Tarpfazinio pavirđiaus stebėjimui ą kanale ąmontuoti specialūs BoSi (Boro Silikato) langai atsparūs slėgio, temperatūros poveikiui bei termiđokui antrojoje eksperimentė fazėje, kai bus naudojamas vandens garas. Dujų srautas valdomas sklende V-1 ir kontroliuojamas diferen-

cialiniu manometru 2 matuojant slėgių skirtumą priediafragmą 3 ir po jos. Dujų tekėjimo kanale greitis apskaiėiuojamas ąvertinant perteklinio slėgio jutikliu 4 iđmatuotą statiną slėgą bei 5 termopora temperatūrą. ąildytuve 6 pađildytas oras ą eksperimentiną kanalą ąteka per specialų korą 7, kurio vienos akutės aukėtis yra 2 mm, plotis 10 mm. Korys skirtas dujų tėkmės sūkuringumui sumaęinti kanalo pradpioje. Kanalo galas yra fiksuotas lanksėia jungtimi 8, jo prieką galima pakelti arba nuleisti. Toks ątaisas leidžia visame kanale iđlaikyti vienodą vandens lygą, t. y. kad oras ar garas nesustumtė vandens ą kanalo galą. Garo kondensacija kanale vyksta tiekiant ąemesnės, nei sotinimo, temperatūros vandeną. Jo srautas reguliuojamas sklendėmis V-2 ir V-3. Jis matuojamas rotametriniu srauto jutikliu 9. ątekanėio ir iđtekanėio vandens temperatūra matuojama termoporomis 10. Slėgis perteklinio slėgio jutikliais 11 matuojamas kanalo pradpioje ir pabaigoje. Bangavimo intensyvumas ąvertinamas analizuojant atvaizdus, gautus skaitmenine fotokamera 12 iki 20 kadru per sekundą daęniu fotografuojant tarpfaziną pavirđių kanalo gale. Oro ar garo greiėio profiliai matuojami Pito vamzdeliu 13. Galimos tyrimė ribos stende: temperatūra iki 200°C, slėgis iki 0,5 MPa, vandens srautas iki 0,2 kg/s, oro srautas iki 0,064 kg/s, numatomas garo srautas iki 0,1 kg/s. Siekiant sumaęinti ąilumos nuostolius stendas bus izoliuotas. Tokios matavimo ąrangos turėt visiđkai pakakti tam, kad būtė galima nustatyti, ar kondensacija turi kokią nors ątaką tarpfazinei trineiai. Tik gavus teigiamą rezultatą bus svarstomas modernios ir tikslios matavimo technikos panaudojimas.

3. PATIKRINAMIEJI EKSPERIMENTAI

Siekiant iđsiaiđkinti, ar pavyks pasiekti ir stebėti dvifazio tekėjimo reęimė kaitą, atlikti patikrinamieji oro–vandens tekėjimo bandymai. Jie buvo atliekami su stovinėiu vandeniu ir palaipsniui didinant oro tekėjimo kanale greitą nuo 0 iki 13 m/s. Tuo pat metu buvo fotografuojamas vandens pavirđius ir uęfiksuo-jama tekėjimo reęimo kaita. Fotografijose aiđkiai matyti vandens pavirđiaus bangavimo pradpia (3 pav.), bangų didėjimas, kol pasiekiamas tekėjimo reęimas, kai gaunamos didelės amplitudės nesimetrinės ir lūptanėios bangos (4 pav.). Galimybė pasiekti ir stebėti reikiamus tekėjimo reęimus patvirtina tai, kad tiek paties kanalo, tiek ją aptarnaujanėio ąrenginio konstrukcinės ypatybės atitinka numatomus eksperimentams keliamus reikalavimus.

Pirmieji bandymai buvo atlikti, kai virđ vandens skirtingu greiėiu (0–13 m/s) teka oras, o vanduo visai neteka arba teka didžiausiu galimu pasiekti 0,17 m/s greiėiu. 5 pav. parodyta bangavimo amplitudės priklausomybė nuo oro tekėjimo greiėio dviem krađtiniais atvejais – kai vandens greitis 0 ir 0,17 m/s. Kaip matyti, didžiausias pasiektas vandens tekėjimo greitis yra nepakankamas, kad ąenkliai paveiktė bangavimo



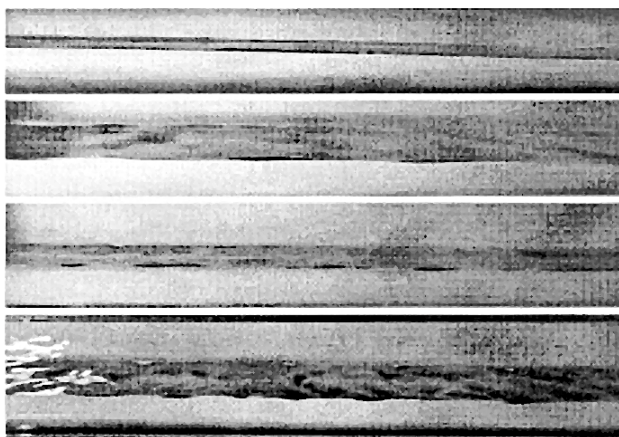
2 pav. Eksperimentinis stendas.

1 – stačiakampis kanalas; 2 – diferencialinis manometras; 3 – diafragma; 4, 11 – perteklinio slėgio jutikliai; 5, 10 – termoporos; 6 – oro šildytuvas; 7 – korys; 8 – lanksti kanalo tvirtinimo jungtis; 9 – srauto jutiklis; 12 – fotokamera; 13 – Pito vamzdelis

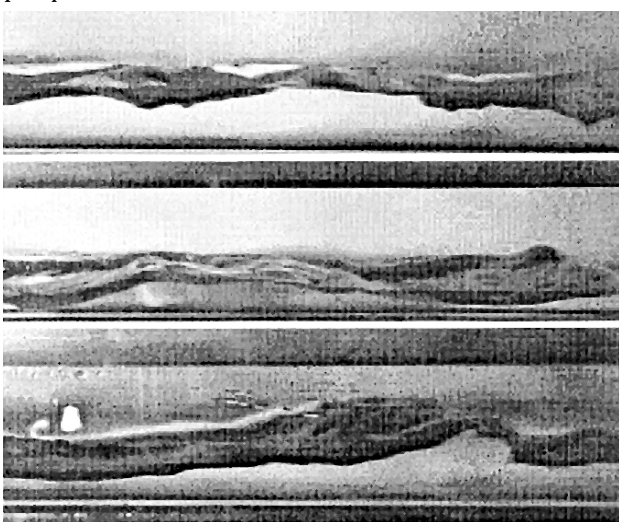
intensyvumą. Taigi eksperimentuojant su oru galima naudoti stovintą vandenį ir išvengti gana sudėtingo a kanale tekančio ir iš jo ištekantį vandens srautų suderinimo.

Analizuojant rezultatus ir numatant tolimesnius eksperimentus kilo sunkumų vertinant bangavimo intensyvumą. Vienas jų yra tai, kad kol bangavimas yra kapiliarinis ir jo amplitudė ne didesnė kaip 2 mm, sunku tiksliai nustatyti bangų aukštį, nes stebint ir fotografuojant tarpfazinį paviršių jo plokštumoje trukdo meniskas, susidarantis vandeniui drė-

kinant langą. Ši problema išspręsta tinkamai sureguliuojant kanalo apdėvietimą. Toliau didėjant tarpfazinio paviršiaus bangavimo amplitudei taip pat tenka susidurti su tam tikromis problemomis. Bangavimo intensyvumą geriausia būtų ávertinti bangų amplitudės kvadratinio vidurkio šaknimi. Tačiau tai reikalauja labai daug pastangų ir laiko, nes tektų ávertinti gana didelės imties atskirų bangų amplitudę. Pasirinktas paprastesnis bangavimo intensyvumo ávertinimas didžiausio ir mažiausio užfiksuoto vandens lygio skirtumu. Kita iškilusi problema yra tai, kad



3 pav. Oro-vandens tarpfazinio paviršiaus bangavimo pradžia

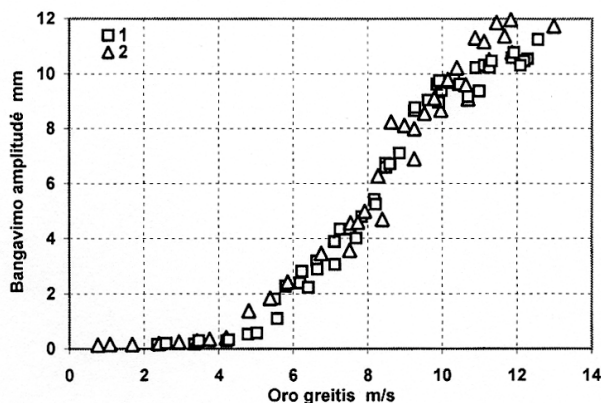


4 pav. Nesimetrinių bangų augimas ir lūptanėsių bangų atsiradimas

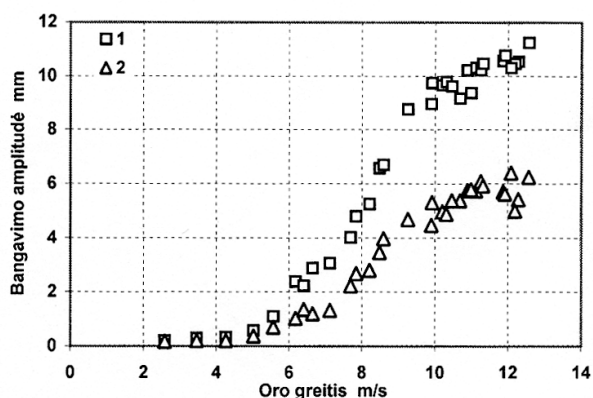
virš vandens tekant garui jis kondensuojasi ant stiklo. Bangos yra trimatės, o jų keteros susidaro kanalo centre, kur didžiausias oro tekėjimo greitis. Todėl, kai skaidri tik skysčio fazė, yra labai sunku nustatyti tikrąją bangų aukštą. Kadangi tyrimo metu numatyta lyginti oro ir garo tekėjimo atvejais gautus rezultatus, nuspręsta bangos viršūne laikyti stiklą drėkinantą aukščiausią jos tašką. 6 pav. pavaizduota tikrosios (su visa ketera) ir tik drėkinančios stiklą bangavimo amplitudės priklausomybė nuo oro tekėjimo greičio. Matyti, kad stiklą drėkinanti amplitudė yra proporcinga tikrajai, todėl parinkta bangavimo intensyvumo vertinimo metodika yra tinkama lyginant oro ir garo atvejus.

4. APIBENDRINIMAS IR IŠVADOS

Analizuojant anksčiau LEI atliktus eksperimentus iškelta hipotezė, kad kondensacija gali turėti ėtakos tarpfazinio paviršiaus stabilumui. Ėdame straipsnyje aprašytas eksperimentinis stendas yra kondensacijos pliūpsnio tyrimo programos tėsa. Jis sukonstruotas



5 pav. Bangavimo amplitudės priklausomybė nuo oro greičio. 1 – vandens greitis 0 m/s; 2 – vandens greitis 0,17 m/s



6 pav. Tikrosios 1 ir stiklą drėkinančios 2 bangavimo amplitudės priklausomybė nuo oro greičio (vandens greitis 0,17 m/s)

taip, kad būtų galima tirti vien- ir dvikomponentą dvifazį tekėjimą, kurio ribos: temperatūra iki 200°C, slėgis iki 0,5 MPa, vandens srautas iki 0,2 kg/s, oro srautas iki 0,064 kg/s, numatomas garo srautas iki 0,1 kg/s. Patikrinamieji bandymai parodė, kad stende galima vizualiai stebėti ir fiksuoti stratifikuotą dvifazį tekėjimą bei pasiekti tekėjimo režimo kaitai reikiamus fazio greičius. Preliminarūs eksperimento rezultatai pateikia bangavimo intensyvumo priklausomybę nuo skirtingo oro ir vandens tekėjimo greičio, kuri patvirtina kitose tyrėse nurodomą 4 m/s tarpfazinio greičio ribą, kai stratifikuotas tekėjimas pereina ėbanguotą. Taip pat identifikuotos bangavimo amplitudės matavimo bei ėvertinimo problemos ir pateikti jų sprendimo būdai.

Gauta 2005 02 28

Literatūra

1. Wongwises S., Kalnitchenko V. Mean velocity distributions in a horizontal air-water flow // I. J. of Multiphase Flow. 2002. Vol. 28. P. 167-174.
2. Fulgosi M., Lakehal D., Banerjee S. and De Angelis V. Direct numerical simulation of turbulence in a she-

- ared air-water flow with a deformable interface // *J. of Fluid Mechanics*. 2003. Vol. 482. P. 319–345.
3. Jaehne B., Muennich O., Boesinger R., Dutzi A., Huber W. and Libner P. On the parameters influencing air-water gas exchange // *J. Geophysical Research*. 1987. Vol. 92(C2). P. 1937.
 4. Rashidi M., Banerjee S. Turbulence modification by large-scale organized electro-hydrodynamic flows // *Phys. Fluids*. 1998. Vol. 10(7). P. 1742.
 5. Komori S., Nagaosa R. and Murakami Y. Turbulence structure and mass transfer across a sheared air-water interface in wind-driven turbulence // *J. Fluid Mech.* 1993. Vol. 249. P. 161.
 6. Ishii M., Tsoukalas L. H., Mi Y., Xiao Z., and Li M. Development of multiphase flow sensors and diagnostic systems // *Purdue University Report: PU/NE-96-6*, 1996.
 7. Lorencez C., Nasr-Esfahany M., Kawaji M. and Ojha M. Liquid turbulence structure at a sheared and wavy gas-liquid interface // *I. J. Multiphase Flow*. 1997. Vol. 23. No. 2. P. 205–226.
 8. Kumar S., Gupta R. and Bannerjee S. An experimental investigation of the characteristics of free-surface turbulence in channel flow // *Phys. Fluids*. 1998. Vol. 10(2). P. 437.
 9. Paras S. V., Karabelas A. J. Measurements of local velocities inside thin liquid films in horizontal two-phase flow // *Exp. Fluids*. 1992. Vol. 13. P. 190–198.
 10. Paras S. V., Vlachos N. A., Karabelas A. J. LDA measurements of local velocities inside the gas phase in horizontal stratified atomization two-phase flow // *I. J. Multiphase Flow*. 1998. Vol. 24. P. 651–661.
 11. Jaehne B., Huber W., Dutzi A., Wais T. and Ilmberger J. Wind-wavw-tunel experiments on the shmidt number and wave field dependence of air-water gas exchange // *Gas transfer at Water surfaces* (ed. W. Brustsaert and G. H. Jirka). Reidel/North-Holland, Amsterdam, 1984.
 12. Coantic M. A model of gas transter across air-water interfaces with capillary waves // *J. Geophysical Research*. 1986. Vol. 91. P. 3925.
 13. Maas C. and Schumann U. Numerical simulation of turbulentturbulent flow over a wavy boundary // *Proceedings of DLES-1, in Direct and Large-Eddy Simulation – I*, Kluwer Academic Publishers. P. R. Voke, L. Kleiser, J. P. Chollet (Eds.). ERCOFTAC Series. 1994. Vol. 26.
 14. De Angelis V., Lombardi P. and Banerjee S. Direct numerical simulation of turbulent flow over a wavy wall // *Phys. Fluids*. 1997. Vol. 9(8). P. 2429.
 15. Cherukat P., Na Y., Hanratty T. J. and Mc Laughlin J. B. Direct numerical simulation of a fully developed turbulent flow over a wavy wall // *Theoret. Comput. Fluid Dynamics*. 1998. Vol. 11. P. 109.
 16. Henn D. and Sykes R. I. Large-Eddy Simulation of flow over wavy surfaces // *J. Fluid Mech.* 1999. Vol. 383. P. 75.
 17. Sullivan P. P., Mc Williams J. C. and Moeng C. H. Simulation of turbulent flow over idealized water waves // *J. Fluid Mech.* 2000. Vol. 404. P. 47–85.
 18. Sullivan P. P. and Mc Williams J. C. Turbulent flow over water waves in the presense of stratification // *Physics of Fluids*. 2002.Vol. 14. No. 3. P. 1182–1195.
 19. Kormori S., Nagaosa R., Murakami Y., Chiba S., Ishii K., and Kuwahara K. Direct numerical simulation of three-dimensionas open-chanel flow with zero-shear gas-liquid interface // *Phys. Fluids*. 1993. Vol. A 5(1). P. 115.
 20. De Angelis V. Numerical investigation and modeling of mass transfer process at sheared gas-liquid interface // *Ph. D. Thesis, UCSB*, 1998.
 21. Pabarėius R., Đeporaitis M., Almenas K. Kondensacijos pliūpsnio tyrimas. 1. Tyrimo objektas ir eksperimentinis standas // *Energetika*. 2003. Nr. 1. P. 86–89.
 22. Pabarėius R., Đeporaitis M., Almenas K. Kondensacijos pliūpsnio tyrimas. 2. Vandens ėkėjimo greiėio ėtaka // *Energetika*. 2003. Nr. 2. P. 3–7.
 23. Pabarėius R., Đeporaitis M., Almenas K. Kondensacijos pliūpsnio tyrimas. 3. Nesikondensuojanėiø dujų ėtaka // *Energetika*. 2003. Nr. 4. P. 3–7.
 24. Lim I. S., Tankin R. S., Yuen M. C. Condensation measurement of horizontal cocurrent stem/water flow // *J. of Heat Transfer*. 1984. Vol. 106. Transactions of the ASME. P. 425–432.
 25. Andritsos N., Bontozoglou V., Hanratty T. J. Transition to slug flow in horizontal pipes // *Chem. Eng. Comm.* 1992. Vol. 118. P. 361–365.
 26. Kim H. J., Bankhoff S. G. Local heat transfer coefficients for condensation in stratified counter-current steam-water flows // *J. of Heat Transfer*. 1983. Vol. 105. P. 23–30.
 27. Collier J. G., Thome J. R. *Convective Boiling and Condensation*, 3rd edition. Oxford Science Publications, 1999.

**Marijus Đeporaitis, Raimondas Pabarėius,
Kazys Almenas**

EXPERIMENTAL TEST FACILITY FOR INVESTIGATION OF CONDENSATION INFLUENCE ON TWO-PHASE STRATIFIED FLOW

Summary

This paper presents an experimental test facility for investigation of the condensation influence on two-phase flow, the preliminary test program and methodics of the experiments. The first tests allowed improving the methodics of the experiments; they showed that the test facility provides the visual observation and recording of the two-phase stratified flow and that the inter-phase velocity required for flow regime transition could be achieved. Preliminary results on the dependency of the variable flow rate of air and water on the intensity of waviness are corroborated by the data of other authors about the transition from a stratified to a wavy flow regime. This will allow comparing future experimental results with the data of other authors.

Key words: two-phase flow, waviness, condensation

Į adëpñ Øãĩđãeoeñ, ðãeĩ ííããñ Íãããð=þñ,
Èãçeñ Æeĩãíãñ

ÝEÑÍ ÆÐEÍ ÆÍ ÐÆEÚÍ Æß ÓÑÓÆÍ Í ÆEÆ ÆËß
ËÑÑEÆÆÍ ÆÆÍ Èß ÆËËßÍ Èß ÈÍ Í ÆÆÍ ÑÆÓÈÈ
Í Æ ÆÆÓÓÆÇÍ ÚÉ ÑÐÆÐÈÈÈÈÐÍ ÆÆÍ Í ÚÉ
Í Í ÕÍ È

Ðãçþíã

Í ðããñããeãí ù ýeñĩ adëĩãĩ ðãeũĩ ùe ñããĩã æëý
eññeããĩããĩ eý æëýĩ eý eĩĩããĩ ñãoeè íãããóóãçĩ ùe
ñðãðeøeøeðĩããĩĩúe ííõĩe, íðããããðeãeũĩãý
ĩđĩãðãĩãã e ýeñĩ adëĩãĩ ðãeũĩãý íãõĩãeãã.

Í đĩããđĩ=íũã ýeñĩ adëĩãĩ ðũ íĩçãĩeèèe øeó=øeõũ
ĩãõĩãeèe è íĩeãçãeè, +õĩ ñããĩã íããñĩã=èãããð
ãeçããeũĩúe íãçĩð e çãĩeñũ íĩãããĩ eý
ñðãðeøeøeðĩããĩĩĩãĩãããóóãçĩĩãĩ ííõĩeã. Íĩe
ðãeãã íĩeãçãeè, +õĩ íã ñããĩãã íĩãĩĩãĩ ñãe=ũ
ĩãeããçĩũð ñeĩđĩñãe, íãĩãõĩãeĩũð æëý eçĩãĩãĩ eý
ðãeèĩããããĩ eý. Íðããããðeãeũĩũã ðãçãeũãðũ íĩ
ñĩĩõĩĩøãĩeþ íãããóãçĩãũĩ e ñeĩđĩñãeĩ e (ãĩçããó/
ãĩãã) e eĩõãĩñeãĩĩñõũþãĩeĩãĩ eý íĩããããðãããþã
ããĩĩũãããããeð eññeããĩãããããeã íĩããããĩããããeèĩãã
ããããĩ eý íð ñðãðeøeøeðĩããĩĩĩãĩãããĩeĩeñũe.

Èep=ããũã ñeĩãã: ãããóãçĩũe ííõĩe,ãĩeĩãĩeã,
eĩĩããĩñãeý