
Kondensacijos pliūpsnio tyrimas

2. Tiekiamo vandens srauto įtaka

**Raimondas Pabarčius,
Marijus Šeporaitis,
Kazys Almenas**

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinių įrenginių saugos
laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-3035 Kaunas*

Straipsnyje pateikiami eksperimentiniai duomenys bei jų aiškinimas, kai kondensacijos pliūpsnis dirbtinai sukeliamas į garu užpildytą talpą tiekiant šaltą vandenį. Nustatytos keturios kondensacijos proceso fazės, kokybiškai palygintas šiluminių charakteristikų kitimas šių kondensacijos fazių metu. Pateikti tyrimo rezultatai įrodo, kad vandens ir garo paviršiaus sutrikdymas, būtinas kondensacijos pliūpsniui pasiekti, pulseryje gali būti sukeltas savaime, parenkant vien į jį tiekiamo vandens srautą.

Raktažodžiai: kondensacija, pliūpsnis, šilumos ir masės mainai, fazių kaita

1. ĮVADAS

Šilumos ir masės mainams per vandens ir garo sąlyčio paviršių skysčio parametrai turi lemiančią įtaką. Net ir esant lygiam fazių sąlyčio paviršiui, bet intensyviai skysčio turbulencijai, kondensacija ant laisvo tarpfazinio paviršiaus gali tapti nestabilia. Toks nestabilumas sukelia labai intensyvios kondensacijos, tačiau trumpalaikius, panašius į sproginimą, protrūkius, dar vadinamus kondensacijos pliūpsniais. Fazių virsmų procesams būdingas vandens ir garo sąlyčio paviršiaus kitimas. Nuolatinis tarpfazinio paviršiaus trikdymas sąlygoja didžiulius šilumos ir masės mainų pokyčius ir tai ypač svarbu tiek branduolinių reaktorių pereinamųjų procesų ir avarijų metu, tiek pramoniniuose technologiniuose procesuose, kuriuose vyrauja dvifazės tėkmės.

Garui sąveikaujant su vandeniu temperatūros gradientas skystyje pasidaro labai didelis tik arti fazių sąlyčio paviršiaus. Susidaro plonas, bet didelę šiluminę varžą turintis difuzinis vandens sluoksnis. Jį stabilizuoja gravitacijos bei paviršiaus įtempio jėgos, todėl vandens paviršiaus temperatūra yra beveik tokia pat, kaip ir garo, o tai trukdo kondensacijos procesui. Trikdžius, suardančius šį sluoksnį, gali sukelti ir savaiminis garo ir/ar vandens judėjimas, atsirandantis, pavyzdžiui, dėl skysčio lygio kilimo inde. Fazių judėjimas viena kitos atžvilgiu sukelia šlytį vandens paviršiuje. Norint sukelti kondensacijos pliūpsnius papildomame šiluminio kontūro inde pulseryje, reikia parinkti tokią jo konstrukciją, kuri įgalintų panaudoti hidrodinaminį nestabilumą, atsirandantį iš anksto numatomomis sąlygomis. Norint, kad pliūpsniai kartotųsi cikliška, reikia užtik-

rinti, kad vandens paviršiaus sutrikdymas būtų periodiškai susižadinantis.

Lietuvos energetikos institute vykdomas mokslinis darbas, kurio tikslas – sukurti eksperimentinį stendą, kuriame būtų galima inicijuoti kondensacijos pliūpsnius vandens ir garo terpėje; identifikuoti juos sukeliančias priežastis; ištirti šį fizikinį fenomeną, nustatant kritines garo ir vandens tėkmių charakteristikas, ir kokybiškai įvertinti šiluminių charakteristikų kitimą įvairių kondensacijos fazių metu. Pirmajame šios serijos straipsnyje [1] supažindinta su tyrimo objektu, pateikti eksperimentinio įrenginio bei bandymų vykdymo eigos aprašymai. Šiame, antrajame, straipsnyje pristatomi tyrimo rezultatai bei jų aiškinimas, kai kondensacijos pliūpsnis dirbtinai sukeliamas į garu užpildytą talpą (pulserį) tiekiant peraušintą vandenį.

2. KONDENSACIJOS PROCESO FAZĖS

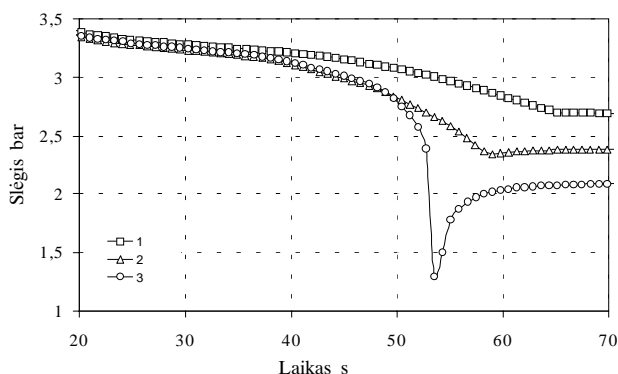
Kondensacijos pliūpsnio tyrimai sukonstruotame eksperimentiniame stende [1] atlikti esant trimis slėgio reikšmėms: 2, 3,5 ir 5 bar. Į pulserį tiekiamo šalto vandens srautas kito nuo 0,016 iki 0,083 kg/s. Pulserį pripildžius pasirinkto slėgio sočiu garu, šaltas vanduo nustatytu greičiu buvo tiekiamas į pulserį iš apačios. Kylant vandens lygiui inde didėja tarpfazinis paviršius, todėl išauga kondensacijos srautas. Atliekant eksperimentus buvo pastebėta, kad prileidus garo į pulserį ir uždarius garo tiekimo sklendę indo viršuje, slėgis pulseryje mažėja nedaug ir kondensacijos pliūpsnio sukelti nepavyksta nepriklausomai nuo tiekiamo vandens srauto. Tačiau vėliau šią sklendę atidarius (t. y. garintuvas – garo resiveris – pulseris

linija tampa atvira [1]), kondensacijos pliūpsnis įvyksta. Tai patvirtino, kad garo ir vandens dinaminė sąveika realiame šiluminiame kontūre gali sukelti fazių sąlyčio paviršiaus nestabilumą – kondensacijos pliūpsnį. Šiame straipsnyje pateikti tyrimo su uždara garo linija, t. y. bandymų metu garintuvą ir garo resiverį jungianti linija buvo uždaryta, rezultatai. Šiuo atveju pradinis garo kiekis yra žinomas ir, remiantis sudaryta tyrimo metodika, pagal eksperimento metu išmatuotą slėgio kitimą nesunku apskaičiuoti bendrą kondensacijos srautą ir šilumos perdavimo koeficientą.

Tyrimai patvirtino, kad vandens garo kondensacijos pliūpsnis labai jautrus tiekiamo vandens srautui. Nuo vandens srauto priklauso tarpfazinio paviršiaus ploto didėjimo greitis ir temperatūros lauko profilis prie paviršiaus. Be to, nuo srauto priklauso vidutinė vandens temperatūra, nes vanduo šyla kondensuojantis garui, taip pat gaudamas šilumos nuo pulserio korpuso. Šie veiksniai turi įtakos kondensacijos srautui, taip pat įtekančio garo greičiui. Gautų rezultatų analizė įgalino išskirti keturias kondensacijos proceso fazes. Šios fazės apibūdinamos tomis pačiomis charakteristikomis, kurios priklauso nuo vandens įtekėjimo į pulserį srauto. Pasirinktai pulserio geometrijai ir esant tam pačiam pradiniam sistemos slėgiui galima išskirti šias būdingas kondensacijos proceso fazes (pateiktos vandens įtekėjimo greičio didėjimo seka):

1. *Pirma fazė – mažas įtekėjimo srautas.* Vandens paviršiaus temperatūra pasiekia sotį per kelias milisekundes [6]. Skystyje susidaro nuožulnaus profilio temperatūros laukas. Vandens įtekėjimo pradžioje tarpfazinio paviršiaus plotas didėja nepakankamai sparčiai, kondensacijos srautas kinta nežymiai ir garo tekėjimo greičio nepakanka sutrikdyti paviršių. Kondensacija vyksta lėtai per lygų vandens ir garo paviršių (1 pav., 1 kreivė).

2. *Antra fazė – didesnis įtekėjimo srautas.* Esant didesniam įtekančio vandens srautui, tarpfazinis paviršius pradeda banguoti, kondensacija didėja. Tačiau paviršiaus trikdymas nepakankamas, kad kiltų staigus kondensacijos pliūpsnis. Temperatūra vande-



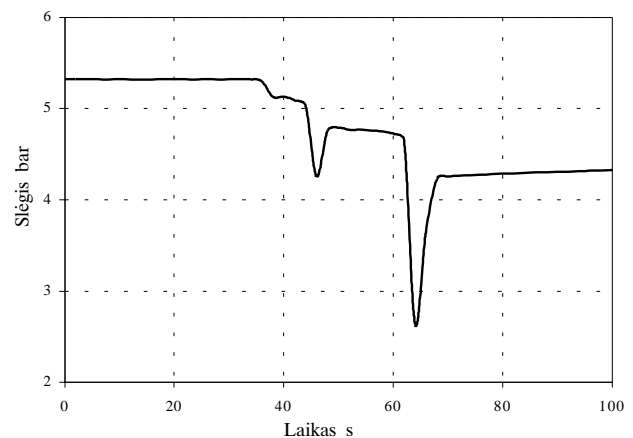
1 pav. Slėgio kitimas pulseryje ($p = 3,5$ bar), kai įtekančio vandens srautas: 1 – 0,03, 2 – 0,033, 3 – 0,038 kg/s

nyje pasiskirsčiusi panašiai kaip ir pirmoje fazėje, slėgis pulseryje krinta nedaug (1 pav., 2 kreivė).

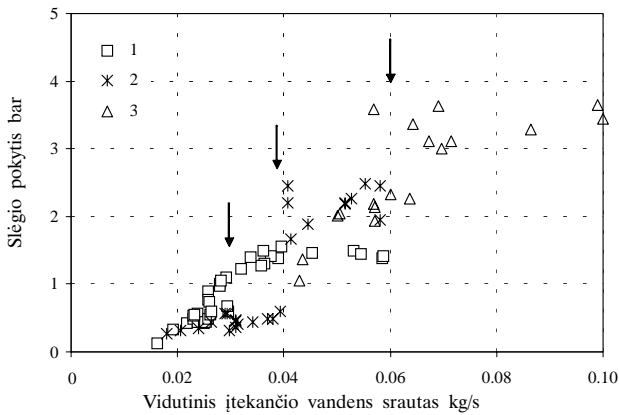
3. *Trečia fazė – kritinis įtekėjimo srautas.* Nors iš pradžių vandenyje prie paviršiaus nusistovi nuožulnaus profilio temperatūros laukas, tačiau integralinio kondensacijos srauto pagreitis didėja. Tai yra dėl sparčiau didėjančio paviršiaus ploto ir intensyvesnės turbulencijos vandenyje prie paviršiaus. Tarpfazinis paviršius banguoja ir kondensacija spartėja. Išaugusi dinaminė fazių sąveika sukelia sąlyčio paviršiaus nestabilumą, ir kondensacija staiga perauga į pliūpsnį. Pulseryje esančio vandens temperatūra staiga (per sekundę) pasiekia sotį, o slėgis akimirksniu krinta (1 pav., 3 kreivė).

4. *Ketvirta fazė – per didelis įtekėjimo srautas.* Nors temperatūrinis gradientas ir spėja stabilizuotis vandens paviršiuje, bet dėl intensyvios turbulencijos temperatūros lauko profilis skystyje yra status, t. y. didelis temperatūros pokytis susidaro tik per ploną sluoksnį prie paviršiaus, o giliau esančio vandens temperatūra lieka daugmaž vienoda. Todėl kondensacijos srauto prieaugis dėl didėjančio garo ir vandens sąlyčio paviršiaus ploto išvysto kritinį garo tėkmės greitį anksčiau nei įteka pilnaverčiui kondensacijos pliūpsniui atsirasti pakankamai šalto vandens. Kondensacija iš pat pradžių būna intensyvi, ir visas įtekantis vanduo greitai pašildomas. Temperatūros gradientas nėra ženklus, tad kondensacijos pliūpsnio neįvyksta, arba jis yra nedidelis. Tokiu atveju gaunami „parazitiniai“, priešlaikiniai kondensacijos šuoliukai (pakopinis slėgio kitimas), nesukeliantys ženklaus vietinio slėgio kritimo (2 pav.).

Šios keturios kondensacijos fazės buvo užfiksuotos atliekant bandymus esant trimis minėtoms slėgio reikšmėms (2, 3,5, 5 bar). Norint sukelti kondensacijos pliūpsnį esant didesniam slėgiui, reikia didesnio peraušinto vandens įtekėjimo srauto. Tai aiškiai matyti 3 pav., kuriame parodyta išmatuotų maksimalių slėgio pokyčių priklausomybė nuo vidutinio vandens įleidimo srauto. Analogiškos minėtoms pir-



2 pav. Slėgio kitimas pulseryje ketvirtos kondensacijos fazės metu

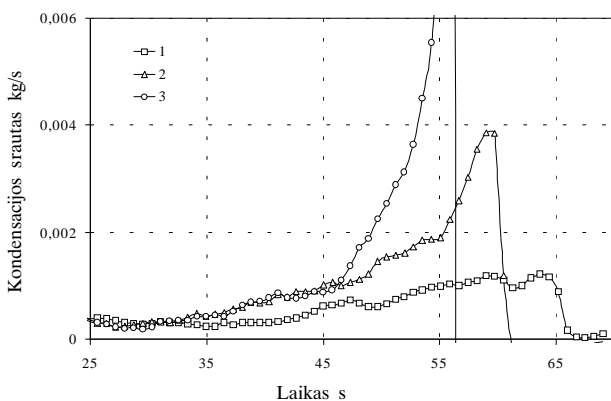


3 pav. Slėgio pokyčio priklausomybė nuo vidutinio vandens srauto į pulserį, kai pradiniai sistemos slėgiai: 1 – 2, 2 – 3,5, 3 – 5 bar

mai ir antrai kondensacijos fazės užfiksuotos, tyrinėjant dvifazį tekėjimą stačiakampiame kanale [2].

3. KONDENSACIJOS SRAUTO KITIMAS ATSKIROSE KONDENSACIJOS FAZĖSE

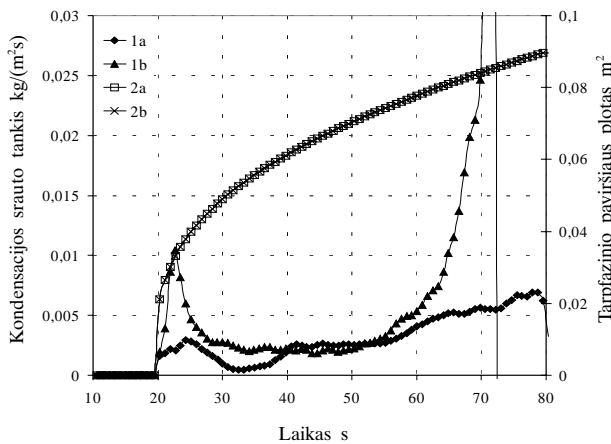
Kondensacijos srautas ir šilumos perdavimo koeficiento kitimas būdingosiose kondensacijos proceso fazėse įvertintas pasitelkiant 1 pav. pateiktus eksperimentų rezultatus. Bandymuose, kuriuose vyrauja pirmajai fazei būdingas mechanizmas (vandens įtekėjimo srautas 0,03 kg/s), kondensacijos srautas tiesiogiai proporcingas tarpfaziniam vandens ir garo geometriniam paviršiaus plotui (4 pav., 1 kreivė). Kondensacijos srautas monotoniškai didėja didėjant vandens lygiui pulseryje. Padidinus įtekančio vandens srautą iki 0,033 kg/s, tarpfazinis paviršius sutrikdomas, jis pradeda banguoti, kondensacijos srautas padidėja (4 pav., 2 kreivė). Pasiekus kritinį vandens įleidimo srautą 0,038 kg/s, „banguota“ kondensacijos fazė pereina į pliūpsnį ir kondensacijos srautas įgyja didžiausias reikšmes (4 pav., 3 kreivė).



4 pav. Kondensacijos srauto kitimas ($p = 3,5$ bar), kai įtekančio vandens srautas: 1 – 0,03, 2 – 0,033, 3 – 0,038 kg/s

Kaip ir daugumoje kitų, mūsų nagrinėjamoje sistemoje (tiesioginis vandens ir garo sąlytis) visose minėtose kondensacijos proceso fazėse didžiausia kliūtis mainams per paviršių vykti yra vandens pusėje. Tai akivaizdžiai parodo molekulių srautų charakteristikos. Pasinaudojant kinetine teorija dujoms [6] lengva apskaičiuoti, kad esant 3,5 bar slėgiui, vidutinis garo molekulių greitis yra 616 m/s, tuo tarpu laisvojo kelio ilgis tik $1 \cdot 10^{-5}$ mm. Tarę, kad vandens paviršiaus temperatūra yra vienu laipsniu žemesnė nei garo, gautume $18 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ kondensacijos srauto tankį. Palyginus vandens paviršių pasiekiantį – $325 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ir grįžtantį – $307 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ molekulių srautus, aišku, kad net ir esant tokiam dideliame kondensacijos srautui ($18 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) atitinka $360 \text{ MW}/\text{m}^2$, jis tesudarytų labai menką paviršių pasiekiančio garo molekulių srauto dalį. Vandens sugebėjimas nuvesti šilumą nuo kondensacijos paviršiaus yra daug mažesnis nei garo galimybė ją patiekti ir tik akimirksnį, vykstant kondensacijos pliūpsniui, jie tampa lygiaverčiai. Tai leidžia daryti išvadą, kad kondensacijos srautą nulemia dvi skysties charakteristikos: realus vandens paviršiaus plotas ir „efektyvus“ vandens laidumas, priklausantis nuo vandens turbulencijos intensyvumo. Garo turbulencija pulseryje turi įtakos kondensacijai, nes sukelia paviršiaus nestabilumą, t. y. bangavimą ir šlytį. Šis veiksnys labai svarbus ir yra pagrindinė priežastis „banguotai“ kondensacijos fazei išsivystyti į kondensacijos pliūpsnį. Kondensacijos srautas priklauso nuo realaus tarpfazinio paviršiaus ploto ir vandens bei garo turbulencijos.

Siekiant kokybiškai įvertinti garo ir vandens turbulenciją, pasirinktos dvi būdingosios kondensacijos proceso fazės – kai pliūpsnis įvyko ir kai jo nepavyko sukelti. Vandens įtekėjimo į pulserį srautas abiem atvejais buvo toks pat. Pagal eksperimente išmatuotus slėgius ir temperatūras apskaičiuoti nominalus tarpfazinio paviršiaus plotas (paviršiaus plotas, neįvertinant susidariusių bangų) ir kondensacijos srauto tankis (į pulserį patenkančio garo masė padalyta iš nominalaus tarpfazinio paviršiaus ploto), kai pradinis sistemos slėgis 2 bar. 5 pav. pavaizduotas šių charakteristikų kitimas eksperimento metu. Remiantis pateiktais rezultatais, galima teigti, kad intensyvią vandens viršutinių sluoksnių turbulenciją sukelia jo įtekėjimo į pulserį iš apačios ir garo tėkmės sukeliama vandens paviršiaus nestabilumo bei šlyties suma. Santykinai įvertinsime šių dedamųjų svarbą. Vandeniui įtekant į pulserį, sukelia vandens turbulencija yra pastovi ir tokia pat abiem atvejais. Taigi paveiksle matyti pokyčiai, kai vis daugiau šalto vandens priteka į pulserį, yra tik garo sukeltos turbulencijos padarinys. Kai pliūpsnis neįvyko, apskaičiuotas kondensacijos srauto tankis monotoniškai didėjo (5 pav., 1a kreivė). Bandymo metu, kai pliūpsnis pavyko sukelti, kondensacija sparčiai ir ženkliai padidėjo (5 pav., 1b kreivė). Tai leidžia teigti, kad antroje kondensacijos proceso dalyje (55–80 s laiko intervale) garo srauto



5 pav. Kondensacijos srauto tankio (1) ir tarpfazinio paviršiaus ploto (2) kitimas eksperimento metu: a – pliūpsnio neįvyko, b – pliūpsnis įvyko

sukelta vandens turbulencijos dedamoji yra didesnė nei vandens įtekėjimo sukurta turbulencija ir vykstant pliūpsniui ši dedamoji vyrauja. Taigi galutinėje kondensacijos pliūpsnio fazėje garo tėkmės sukeliamą vandens turbulencija yra lemianti.

4. ŠILUMOS MAINŲ KITIMAS KONDENSACIJOS PLIŪPSNIO EVOLIUCIJOS PROCESE

Naudojant nominalų tarpfazinio paviršiaus plotą ir remiantis atliktais matavimais sunku apskaičiuoti realų šilumos perdavimo koeficientą, nes sudėtinga nustatyti vandens paviršiaus temperatūrą. Inžinieriniuose skaičiavimuose tradiciškai naudojama vidutinė vandens temperatūra. Tekant skysčiui kanalu ši temperatūra yra lengvai nustatoma, tačiau nagrinėjant vandens tūrį pulseryje, tai sudėtinga. Siekiant įvertinti vidutinę vandens temperatūrą pulseryje, pritaikyti du skirtingi būdai jai apskaičiuoti:

1) tiesioginis būdas, vidurkinant pulserio erdvėje išdėstytų termoporų matavimus,

2) eksperimentinis-teorinis būdas, naudojant RELAP5 programų paketą.

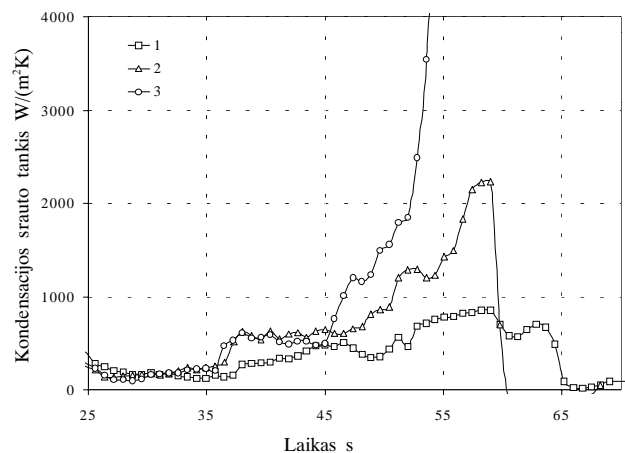
Pirmuoju būdu vidutinė vandens temperatūra apskaičiuota suvidurkinus eksperimento metu gautus termoporų rodmenis. Antruoju būdu ji apskaičiuota RELAP5 programų paketu, kuris įvertina šilumos pernešimą iš garo į vandenį dėl kondensacijos (pagal garo kiekio kitimą pulseryje) ir laidumu nuo karštų vidinių sienelių. Į skaitinį modelį buvo iš anksto įtraukta eksperimente išmatuota $p(t)$ priklausomybė.

6 pav. pateiktas šilumos perdavimo koeficiento kitimas trijose pirmosiose kondensacijos proceso fazėse. Vidutinė vandens temperatūra pulseryje apskaičiuota pirmuoju būdu. Analizei pasirinkti tų pačių trijų būdingų eksperimentų rezultatai, pateikti 1 ir 4 pav. Pradinis sistemos slėgis šių bandymų metu – 3,5 bar.

Rezultatai aiškiai išskiria skirtingas minėtas kondensacijos fazes ir parodo šilumos perdavimo koeficiento dinamiką eksperimentų metu. Proceso be pliūpsnio eigoje (6 pav., 1 kreivė) baigus į pulserį tiekti šaltą vandenį, t. y. kai vandens turbulencija yra minimali (eksperimento pabaiga), šilumos perdavimo koeficiento reikšmė išlieka stabili $\sim 80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Didesnės nei šios reikšmės atspindi papildomą vandens turbulenciją atsirandančią dėl vandens srauto į pulserį iš apačios ($\sim 200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) ir dėl garo tėkmės dinaminio poveikio. Artėjant kondensacijos pliūpsniui gerokai ir staigiai padidėja šilumos perdavimo koeficientas. Kondensacijos pliūpsnio metu šilumos mainai vyksta sparčiai (6 pav., 3 kreivė) ir šilumos perdavimo koeficientas padidėja iki šimto kartų. Pliūpsniui neįvykus šilumos perdavimo koeficientas išlieka daugmaž pastovus per visą šalto vandens įleidimo laiką (6 pav., 1 kreivė).

Kadangi stratifikuoto dvifazio srauto perėjimas į nestratifikuotą tekėjimo režimą kanale labai artimas kondensacijos pliūpsnio evoliucijai, galimaulyginti gautas šilumos perdavimo koeficiento reikšmes su literatūroje skelbtais duomenimis. Tyrinėjant tekėjimą kanalais priklausomai nuo srauto turbulencijos nustatyta, kad šilumos perdavimo koeficientas gali kisti nuo 200 iki $35000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [2–4]. Esant mažiausiai turbulencijai, t. y. vykstant stratifikuotam tekėjimui kanalu (tai atitinka pirmą mūsų įvardytą kondensacijos fazę), šio koeficiento reikšmės yra mažiausios ($\sim 200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Tai atitinka mūsų skaičiavimo rezultatus.

Visais būdingais kondensacijos proceso atvejais apskaičiuotas šilumos perdavimo koeficiento kitimas, taikant abu minėtus vidutinės vandens temperatūros nustatymo būdus, yra panašus (nesutapimas 30%). Tai patvirtina pasirinktos metodikos tinkamumą. Atliekant šiuos palyginimus nebuvo atsižvelgta į oro įtaką kondensacijos proceso eigai. Nesikondensuojančių dujų įtaka bus nagrinėjama tolimesniame šio ciklo straipsnyje.



6 pav. Šilumos perdavimo koeficiento kitimas ($p = 3,5 \text{ bar}$), kai įtekančio vandens srautas: 1 – 0,03, 2 – 0,033, 3 – 0,038 kg/s

5. IŠVADOS

Įrodyta, kad vandens ir garo paviršiaus sutrikdymas, būtinas kondensacijos pliūpsniui įvykti, pulseryje gali kilti savaime. Kondensacijos pliūpsnis gali įvykti parenkant tik šalto vandens, tiekiamo į pulserį, srautą. Jei pasiekiamas kritinis vandens įtekėjimo srautas, pliūpsnis įvyksta.

Priklausomai nuo į pulserį įtekančio vandens srauto, išskirtos keturios kondensacijos proceso fazės. Šios fazės nusako tarpfazinio paviršiaus sutrikdymą (lygus–banguotas–visiškai sutrikdytas).

Duomenų analizė rodo, kad įvairių kondensacijos proceso fazių metu šilumos ir masės mainų intensyvumas labai skiriasi. Pliūpsnio metu šilumos perdavimo koeficiento reikšmės išaugo net iki šimto kartų.

Gauta
2003 01 14

Literatūra

1. Pabarčius R., Šeporaitis M., Almenas K. Kondensacijos pliūpsnio tyrimas. 1. Tyrimo objektas ir eksperimentinis standas // Energetika. 2003. Nr. 1. P. 86–90.
2. 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.
3. Aya I., Nariai H. Evaluation of heat-transfer coefficient at direct-contact condensation of cold water and steam // Nuclear Engineering and Design. 1991. Vol. 131. P. 17–24.
4. Murata A., Hihara E., Saito T. Prediction of heat transfer by direct contact condensation at a steam-subcooled water interface // Int. J. Heat Mass Transfer. 1992. Vol. 35. P. 101–109.
5. Almenas K., Pabarčius R., Šeporaitis M. Development of a pulser for a passive thermal-hydraulic energy transport system // Proceedings of 12th Int. Heat Transfer Conference. 18–23 August 2002. Grenoble, France. P. 815–820.
6. Collier J. G., Thome J. R. Convective Boiling and Condensation, 3rd edition. Oxford Science Publications, 1999.

Raimondas Pabarčius, Marijus Šeporaitis, Kazys Almenas

INVESTIGATION OF CONDENSATION IMPLOSION EVENT

2. INFLUENCE OF THE SUBCOOLED WATER INTRODUCTION RATE

S u m m a r y

This article presents the experimental results and their explanation when the condensation implosion event is generated manually by introduction of sub-cooled water into a saturated-vapour-filled volume. There are four condensation modes defined and variations of the thermal characteristics during these condensation modes are qualitatively compared. The results of analysis have shown that the vapour-water interface perturbation required for the initiation of the condensation implosions could be self-generated in the pulser and depend solely on the rate of water supply.

Key words: condensation, implosion, heat and mass transfer, phase change

Раймондас Пабарчюс, Мариус Шепорайтис, Казис Алменас

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ВСПЫШЕК

2. ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ПОДАЧИ ВОДЫ

Р е з ю м е

В настоящей статье приведены экспериментальные данные и изложена их интерпретация, когда конденсационная вспышка искусственно инициируется, холодную воду поставляя в паром заполненный сосуд – пульсер. Определены четыре характерные фазы конденсации, проведен качественный анализ по сравнению изменения тепловых характеристик во время этих фаз. Представленные результаты доказывают, что перетурбация межфазной поверхности, необходимая для достижения конденсационной вспышки, может быть создана в пульсере самостоятельно, лишь подобрав скорость подачи воды.

Ключевые слова: конденсация, вспышка, тепло- и массообмен, изменение фаз