

Šilumos atidavimo pasvirusiame plokščiame kanale turbulencinės mišrios konvekcijos priešingų krypčių tėkmėse esant stabiliai oro tankio stratifikacijai apibendrinimas

Robertas Poškas,
Povilas Poškas

*Lietuvos energetikos institutas,
Branduolinės inžinerijos problemų
laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas*

Straipsnyje pateikiami duomenys ir rezultatai papildo ir apibendrina anksčiau šiame žurnale skelbtus darbus. Pateikiami eksperimentinių tyrimų rezultatai tekant orui pasvirusiame plokščiame kanale ($\beta = 20^\circ$ nuo horizontalios padėties). Šilumos atidavimas nagrinėtas vienpusio kaitinimo atveju (kaitinama viršutinė kanalo sienelė), esant priešingų tėkmių turbulencinei mišriai konvekcijai, kai $Re = 4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$, o $Gr_\gamma = 1,7 \cdot 10^8 - 1,4 \cdot 10^{10}$. Naudojant šiuos ir anksčiau gautus duomenis vertikaliame ir pasvirusiame plokščiame kanale, pasiūlyta apibendrinanti priklausomybė šilumos mainams apskaičiuoti.

Raktažodžiai: šilumos mainai, turbulencinė mišri konvekcija, priešingų krypčių tėkmės, stabili tankio stratifikacija, oras, pasviręs plokščias kanalas, rezultatų apibendrinimas

1. ĮVADAS

Trumpa mišrios konvekcijos vertikaliuose ir pasvirusiuose kanaluose tyrimų apžvalga pateikta [1]. Toliau trumpai paminėsime pastaruoju metu atliktus eksperimentinius mišrios konvekcijos tyrimus Lietuvos energetikos institute.

Tai šilumos atidavimo priešingų krypčių tėkmėse tyrimai. Eksperimentiniai tyrimai atlikti esant vienpusiam kaitinimui (kaitinama viršutinė sienelė), t. y. stabilios tankio stratifikacijos atveju. Pirmiausia nagrinėtas šilumos atidavimas stabilizuotoje vertikalaus plokščio kanalo dalyje [1]. Gauti eksperimentiniai duomenys palyginti su kitų autorių duomenimis vertikaliems vamzdžiams ir kanalams. Taip pat pasiūlyta apibendrinanti priklausomybė šilumos mainams skaičiuoti vertikaliame kanale vienpusio kaitinimo atveju. Rezultatai parodė, kad gauta priklausomybė neblogai koreliuoja su Petukhov–Poliakov pasiūlyta priklausomybe vertikaliems vamzdžiams.

Šilumos atidavimo kitimas išilgai vertikalaus plokščio kanalo nagrinėtas darbe [2]. Tyrimai parodė, kad tolstant nuo kaitinimo pradžios (didėjant x/d_c), santykinis šilumos atidavimas didėja dėl termogravitacijos jėgų poveikio didėjimo, o vėliau truputį sumažėja, nes mažėja termogravitacijos parametro skaitinės reikšmės išilgai kanalo. Tačiau, kai ter-

mogravitacijos jėgų poveikis yra didelis ir $x/d_c > 30$, gerokai suintensyvėja šilumos atidavimas ir tai gali būti sąlygojama vietinio srauto atitrūkimo prie kanalo sienelės.

Darbe [3] nagrinėtas šilumos atidavimas stabilizuotoje pasvirusio plokščio kanalo dalyje, kai kanalo pasvirimo kampas nuo horizontalios padėties yra $\varphi = 60^\circ$. Duomenys analizuoti panaudojant įvairius termogravitacijos parametrus. Gauti duomenys palyginti su duomenimis, gautais vertikaliame kanale. Nustatyta, jog termogravitacijos jėgų poveikis yra šiek tiek mažesnis negu vertikaliame kanale.

Šilumos atidavimo pasvirusiame plokščiame kanale ($\varphi = 30^\circ, 60^\circ$ nuo horizontalios padėties) rezultatai esant priešingų krypčių tėkmėms pateikti darbe [4]. Čia daugiausia dėmesio skirta šilumos atidavimo kitimui išilgai pasvirusio plokščio kanalo. Duomenys sulyginti su anksčiau gautais rezultatais vertikaliame plokščiame kanale. Rezultatai parodė, kad esant priešingų krypčių turbulencinėms tėkmėms, kai termogravitacijos jėgų poveikis yra didelis ($Bo_2 \geq 0,5$), nuo tam tikro x/d_c gerokai suintensyvėja šilumos atidavimas ir, kaip minėta anksčiau, tai gali būti sąlygojama vietinio tėkmės atitrūkimo prie kanalo sienelės. Be to, srauto vietinio atitrūkimo (minimalaus šilumos atidavimo) taško padėties priklausomybė nuo termogravitacijos parametro nėra aiškiai išreikšta, o

tai galėtų reikšti, kad kanale susiformuoja sūkurinis tekėjimas.

Šiame darbe pateikiami rezultatai gauti esant vienpusiam kaitinimui stabilios tankio stratifikacijos atveju (kaitinama viršutinė sienelė), kai priverstinės ir natūralios konvekcijų kryptys yra priešingos (priešingų krypčių tėkmės) pasvirusiame plokščiam kanale, kai kanalo polinkio kampas nuo horizontalios padėties $\phi = 20^\circ$. Panaudojus šiuos bei ankstesniuose darbuose [1, 3] pateiktus duomenis, gauta apibendrinanti priklausomybė šilumos atidavimui apskaičiuoti vertikalaus ir pasvirusio plokščio kanalo stabilizuotoje dalyje.

2. TYRIMŲ METODIKA

Kaip ir ankstesniuose darbuose, eksperimentai atlikti naudojant Branduolinės inžinerijos problemų laboratorijoje esantį atviro tipo aerodinaminį kontūrą. Oro slėgis prieš srauto debito matavimo diafragmas ir eksperimentinio ruožo įėjime matuojamas pavyzdiniais manometrais, o slėgio kritimai diafragmose – lėkštinio tipo difmanometrais, pripildytais destiliuoto vandens. Tėkmės temperatūra prieš diafragmas ir įtekant į eksperimentinį ruožą matuojama 0,3 mm skersmens chromelio ir aliumelio termoporumis. Visi termoporų elektriniai signalai taip pat įtampos kritimai kalorimetriniuose paviršiuose ir šuntuose matuojami automatinė matavimo ir duomenų surinkimo sistema, prijungta prie IBM asmeninio kompiuterio.

Šilumos mainams tirti plokščiam kanale mišrios konvekcijos priešingų krypčių tėkmių atveju panaudotas laboratorijoje esantis eksperimentinis įrenginys. Tai plokščias kanalas, kurio aukščio ir pločio santykis apytiksliai yra 1:10, o bendras ilgis – 6260 mm. Jį sudaro hidrodinaminės stabilizacijos ruožas ir kalorimetrinė dalis. Hidrodinaminės stabilizacijos ruožo ilgis – 2370 mm ($x/d_e \approx 25$), o kalorimetrinės dalies ilgis – 3890 mm ($x/d_e \approx 50$). Eksperimentinio ruožo kalorimetrinį paviršių sudaro 0,38 mm storio ir 370 mm pločio nerūdijančio plieno folija. Kalorimetrinė folija kaitinama nuolatine elektros srove.

Didesnei Gr reikšmei gauti ir termogravitacinių jėgų poveikiui padidinti šilumnešio slėgis eksperimentų metu siekė iki 0,8 MPa. Kad tai būtų galima pasiekti, visas eksperimentinis ruožas yra patalpintas slėgio inde, kurio skersmuo 870 mm, ilgis – 7200 mm, svoris – apie 2000 kg, tūris – 4 m³. Visi eksperimentai atlikti esant kraštinei sąlygai $q_w \approx \text{const}$, kai sienelės ir srauto temperatūrų skirtumas siekė iki 150 K. Išsamesni eksperimentinio ruožo duomenys pateikti [1].

Gautų rezultatų pirminio apdorojimo stadijoje buvo nustatomi pagrindiniai kriterijai Nu, Re, Gr_q ir

Pr. Juose sąlygojančiais parametrais konkrečiame kanalo skerspjūvyje laikomi srauto vidutiniai masiniai temperatūra ir greitis bei plokščio kanalo ekvivalentinis skersmuo $d_e \approx 2h$.

Šilumos srauto tankis apskaičiuotas pagal formulę:

$$q_w = \frac{q}{b}; \quad (1)$$

čia b – kanalo plotis m.

Surandant šilumos srauto konvekinės dedamosios linijinį tankį q , įvertinti šilumos nuostoliai į aplinką per termoizoliaciją (q_{is}), šilumos srautas išilgai kalorimetro sienelės (q_λ) bei spinduliavimo šilumos srautai (q_{sp}):

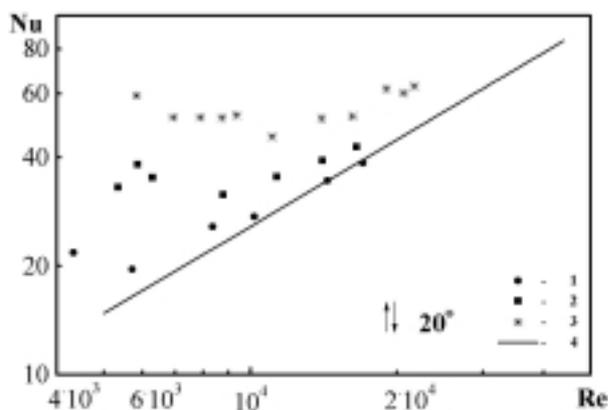
$$q = q_{el} - q_\lambda - q_{is} - q_{sp}. \quad (2)$$

Šilumos srauto per termoizoliaciją linijiniam tankiui nustatyti atlikti specialūs taravimo eksperimentai. Tam tikslui kanalo pratekėjimo skerspjūvis buvo užpildytas izoliacine medžiaga (asbesto lakštais), kad nebūtų šilumos pernešimo dėl natūralios konvekcijos, o folijomis buvo leidžiama nuolatine elektros srovė. Folijoje išsiskyrusios šilumos nuvedimas buvo tik per termoizoliaciją. Šilumos nuostoliai per termoizoliaciją apskaičiuoti pagal plokščios sienelės šilumos laidumo formulę, naudojant termoporų, išdėstytų poromis izoliacinėse plokštėse, rodmenų skirtumą. Gautos šilumos nuostolių į aplinką skaitmeninės reikšmės aproksimuotos antro laipsnio polinomu atskirai kiekvienai sienieli. Pagal šitas priklausomybes ir apskaičiuojami šilumos nuostoliai į aplinką folijos temperatūros matavimo taškuose pagrindinių eksperimentų metu. Nuodugnesnė rezultatų apdorojimo metodika pateikta [1].

3. REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Eksperimentiniai tyrimai atlikti plačiame oro tėkmės parametru kitimo intervale ($Re = 4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$, $Gr_q = 1,7 \cdot 10^8 - 1,4 \cdot 10^{10}$) esant įvairiems šilumnešio slėgiams ($p = 0,4; 0,6; 0,8$ MPa) vienpusio kaitinimo atveju (kaitinama tik viršutinė sienelė).

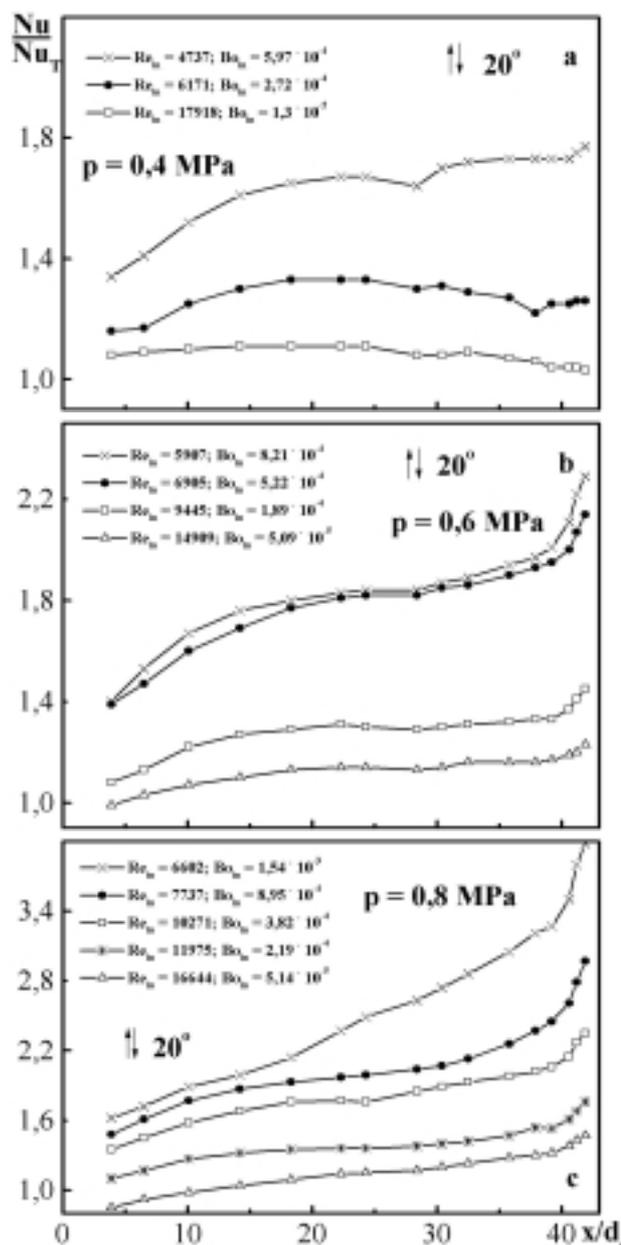
Kaip matyti 1 pav., šilumos atidavimo intensyvumas labai priklauso nuo oro slėgio (panašiai yra vertikalaus [1] ir kitų pasvirimo kampų kanalo atveju [3]). Kuo didesnis oro slėgis (didesnis Gr_q), tuo intensyvesnis šilumos atidavimas mažų Re srityje. Didelių Re srityje šilumos atidavimo intensyvumas artėja prie šilumos atidavimo esant priverstinei konvekcijai. Esant mažiausioms Re reikšmėms, taškai pradeda išsidėstyti pagal horizontalę, nes čia vyrauja natūrali konvekcija. Šioje zonoje šilumos atidavimas nebeprisiklauso nuo Re. Būdinga tai, kad čia stebimas šuoliškas šilumos atidavimo pokytis, esant 0,4 MPa



1 pav. Šilumos atidavimo priklausomybė nuo Re stabilizuotoje plokščio kanalo dalyje ($x/d_e = 41,9$) vienpusio kaitinimo atveju (kaitinama viršutinė sienelė), kai natūralios ir priverstinės konvekcijų kryptys yra priešingos: 1 – $p = 0,4$ MPa, 2 – 0,6 MPa, 3 – 0,8 MPa, 4 – priverstinė konvekcija

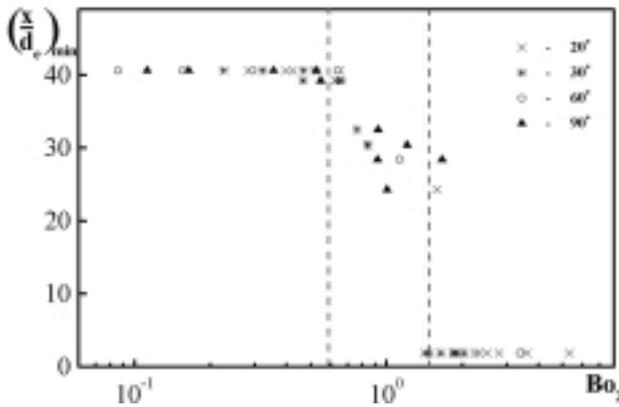
slėgiui, kai $Re \approx 6000$, esant 0,6 MPa slėgiui, kai $Re \approx 9000$, ir esant 0,8 MPa slėgiui, kai $Re \approx 11000$. Tokio staigaus šilumos atidavimo pokyčio priežastys paaiškės vėliau, išnagrinėjus šilumos atidavimo kitimą išilgai kanalo.

2 pav. parodytas santykinio šilumos atidavimo kitimas išilgai kanalo esant įvairiems darbo agento slėgiams, kai kanalo pasvirusimo kampas yra 20° nuo horizontalios padėties. Šilumos atidavimas plokščiaame kanale esant vienpusiam kaitinimui priverstinės konvekcijos atveju (Nu_T) buvo naudojamas kaip normuojantis dydis. Nu_T skaičiuotas esant tam pačiam Re kaip ir eksperimentuose gauta Nu reikšmė mišrios konvekcijos sąlygomis. Siekiant įvertinti, nors ir nedidelį, srauto savybių kitimą, Nu_T įvertinti naudota [5] pasiūlyta metodika žiediniams kanalams (ribiniu atveju – plokščiam kanalui). Esant dideliems Re skaičiams yra mažiausias termogravitacijos jėgų poveikis, todėl, kai $Re_{in} = 17900$ (2 pav. a), $Re_{in} = 14900$ (2 pav. b) ir $Re_{in} = 16600$ (2 pav. c), šilumos atidavimas per visą kanalo ilgį vyksta priverstinės konvekcijos sąlygomis ($Nu/Nu_T \approx 1$). Mažėjant Re didėja santykinis šilumos atidavimas (didėja termogravitacijos jėgų poveikis). Kaip matyti 2 pav. a (1, 2 kreivės), iki $x/d_e \approx 18$ santykinis šilumos atidavimas didėja. Tai susiję su tuo, kad termogravitacijos jėgų poveikis reiškiasi palaipsniui, t. y. didėja didėjant x/d_e , kol pasiekama stabilizacija. Šilumos atidavimo nežymus mažėjimas pastebimas, kai $x/d_e > 28$ (1 kreivė) ir $x/d_e > 37$ (2 kreivė). Tai susiję su tuo, kad termogravitacijos jėgų poveikį lemiančių kriterijų ir parametrų skaitinės reikšmės (Gr_q , Bo_2) mažėja tolstant nuo kaitinimo pradžios [2], tuo tarpu Re reikšmės išilgai kanalo keičiasi mažai. Pagrindinis ypatumas yra tai, kad esant mažiausiems Re šilu-



2 pav. Santykinio šilumos atidavimo kitimas išilgai kanalo: a – $p = 0,4$ MPa; b – $p = 0,6$ MPa; c – $p = 0,8$ MPa

mos atidavimas nuo tam tikro x/d_e pradeda didėti. Kai slėgis yra 0,4 MPa, tai stebima esant $Re_{in} = 4700$ ir 6100. Esant 0,8 MPa slėgiui (2 pav. c) šilumos atidavimo padidėjimas išryškėja esant $Re_{in} = 7700$ ir 10200. Esant 0,6 MPa slėgiui šitaip akivaizdžiai šilumos atidavimas nekinta, tačiau esant mažiausiems Re (2 pav. b, 1, 2 kreivės) šilumos atidavimas didėja nuo pat kanalo pradžios. Tai pastebima ir esant mažiausiam Re, kai slėgis lygus 0,8 MPa. Tai gali būti susiję su tėkmės vietiniu atitrūkimu prie kanalo sienelės dėl termogravitacijos jėgų poveikio ir su dėl to kylančia papildoma tėkmės turbulizacija. Tačiau, norint tiksliai nustatyti šilumos atidavimo intensyvumo pokyčio priežastį, reikia atlikti struk-



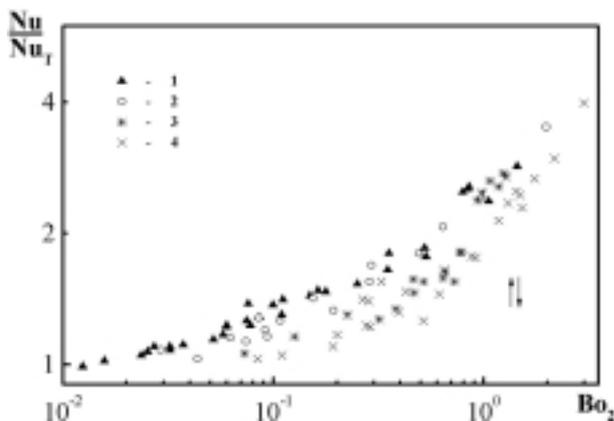
3 pav. Mažiausio šilumos atidavimo taško padėties priklausomybė nuo termogravitacijos parametro Bo_2

tūrinius srauto tyrimus. Tačiau šie šilumos atidavimų pokyčiai nėra taip aiškiai išreikšti, kaip esant didesniems polinkio kampams [4].

Minimalaus šilumos atidavimo taško dinamika esant įvairiems polinkio kampams parodyta 3 pav. Čia sąlyginai pavaizduota, kad esant nedidelėms termogravitacijos parametro Bo_2 reikšmėms minimalus šilumos atidavimas yra kanalo gale ($x/d_e \approx 40$). Termogravitacijos parametrai Bo_2 padidėjus iki 0,7, stebimi režimai su tėkmės atitrūkimu, kai $(x/d_e)_{\min} \approx 25-35$. Kai $Bo_2 > 1,7$, šilumos atidavimo minimumas persikelia į kaitinimo pradžią. Aiškiai išreikštos $(x/d_e)_{\min}$ priklausomybės nuo Bo_2 nebuvimas galėtų reikšti, jog priklausomai nuo Bo_2 dydžio susiformuoja didesnis arba mažesnis sūkurys pagal kanalo ilgį.

4. REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

4 pav. matyti, kad santykinis šilumos atidavimas (Nu/Nu_T) plokščiam kanale esant priešingų krypčių srau-



4 pav. Santykinio šilumos atidavimo priklausomybė nuo termogravitacijos parametro Bo_2 stabilizuotoje plokščio kanalo dalyje ($x/d_e = 41,9$) esant vienpusiam kaitinimui, kai natūralios ir priverstinės konvekcijų kryptys yra priešingos: 1 – $\varphi = 90^\circ$, 2 – $\varphi = 60^\circ$, 3 – $\varphi = 30^\circ$, 4 – $\varphi = 20^\circ$

tams ir vienpusiam kaitinimui monotoniškai didėja didėjant termogravitacijos parametrai Bo_2 . Mažėjant kanalo pasvirimo kampui termogravitacijos jėgos poveikis (šilumos atidavimo padidėjimas) pasireiškia vėliau ir yra mažesnis. Esant didelėms termogravitacijos parametro reikšmėms ($Bo_2 > 7 \cdot 10^{-1}$) šilumos atidavimo pobūdis pasikeičia. Tai yra susiję su anksčiau minėtu srauto atitrūkimu prie sienelės. Matyti, kad mažėjant polinkio kampui termogravitacijos parametro Bo_2 kitimo diapazonas, kuriame tekėjimas neatitrūkstamas, sumažėja. Taip yra dėl to, kad mažėjant polinkio kampui srautas dėl termogravitacijos jėgų poveikio turbulizuojamas vis mažiau (šilumos atidavimas mažiau intensyvus). Dėl to greičio profilis mažiau užpildytas ir srovė atitrūksta sparčiau, kai ją veikia priešingos krypties srovė.

Šilumos atidavimui apskaičiuoti pasvirusiuose kanaluose ($\varphi = 20-90^\circ$) iki $Bo_2 \approx 7 \cdot 10^{-1}$ reikšmės pasiūlyta ši apibendrinanti priklausomybė:

$$\frac{Nu}{Nu_T} = 1,9Bo_2^{0,18} \varphi^{0,15}; \quad (3)$$

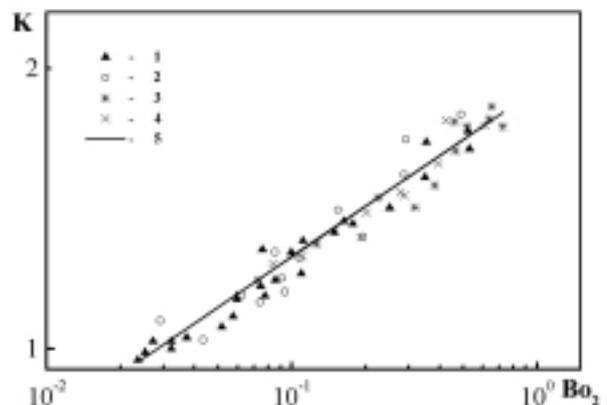
čia φ – radianais.

Šios priklausomybės palyginimas su eksperimentiniais duomenimis parodytas 5 pav. Ji aprašo eksperimentinius duomenis su ne didesne kaip 10% paklaida, kai $Bo_{2rib} \leq Bo_2 \leq 7 \cdot 10^{-1}$.

Bo_{2rib} – tai tokia Bo_2 reikšmė, kuriai esant pradeda pasireikšti termogravitacijos jėgų poveikis, t. y. pradeda didėti šilumos mainai, palyginus su šilumos atidavimu esant priverstinei konvekcijai. Bo_{2rib} didėja mažėjant polinkio kampui φ . Jo reikšmę galima apskaičiuoti iš priklausomybės

$$Bo_{2rib} = 0,027\varphi^{-0,84}, \quad (4)$$

kuri gauta iš (3) priklausomybės, kai $Nu/Nu_T = 1,0$.



5 pav. Priklausomybės (3) palyginimas su eksperimentiniais duomenimis stabilizuotoje plokščio kanalo dalyje ($x/d_e = 41,9$): 1 – $\varphi = 90^\circ$, 2 – $\varphi = 60^\circ$, 3 – $\varphi = 30^\circ$, 4 – $\varphi = 20^\circ$, 5 – pagal (3), $K = (Nu/Nu_T)/\varphi^{0,15}$

Ji tinka, kai polinkio kampas $\varphi = 90\text{--}20^\circ$. Esant dar mažesniems polinkio kampams šilumos atidavimo procesas gerokai pasikeičia. Eksperimentiniai tyrimai, atlikti, kai kanalo polinkio kampas $\varphi = 10^\circ$, parodė, kad tuo atveju tam tikroje Bo_2 kitimo zonoje šilumos atidavimas yra mažesnis už šilumos atidavimą priverstinės konvekcijos sąlygomis, t. y. $Nu/Nu_T < 1,0$. Taigi, esant mažiems kanalo polinkio kampams, stebima srauto laminarizacija, kaip ir horizontaliame kanale stabilios tankio stratifikacijos atveju.

5. IŠVADOS

Atlikus šilumos atidavimo tyrimus pasvirusiame ($\varphi = 20^\circ$ nuo horizontalios padėties) plokščiaame kanale ($q_w \approx \text{const}$) esant priešingų kryptių tėkmėms bei stabiliai tankio stratifikacijai (kaitinama tik viršutinė sienelė), kai $Re = 4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$, $Gr_q = 1,7 \cdot 10^8 - 1,4 \cdot 10^{10}$, galima padaryti šias išvadas.

1. Esant kanalo polinkio kampui $\varphi = 20^\circ$ šilumos atidavimo dėsningumai išlieka tokie pat, kaip ir esant didesniems kanalo polinkio kampams.

1. Apibendrinus šių ir ankstesnių tyrimų duomenis pasiūlyta (3) priklausomybė šilumos atidavimui vertikaliame ir pasvirusiuose kanaluose apskaičiuoti, kai $\varphi = 90\text{--}20^\circ$.

Pažymėjimai

- c_p – savitoji šiluma J/(kg · K)
- d_e – kanalo ekvivalentinis skersmuo $d_e = 2h$ (m)
- g – laisvojo kritimo pagreitis m/s²
- h – plokščio kanalo aukštis m
- p – slėgis Pa
- q – šilumos srauto tankis W/m²
- T – temperatūra K
- u – srauto vidutinis masinis greitis m/s
- x – atstumas nuo kaitinimo pradžios m
- α – šilumos atidavimo koeficientas,
 $\alpha = q_w/(T_w - T_f)$, W/(m² · K)
- β – tūrinis plėtimosi koeficientas 1/K
- λ – šilumos laidumo koeficientas W/(m · K)
- ν – kinematinis klampumo koeficientas m²/s
- μ – dinaminis klampumo koeficientas Pa · s
- φ – polinkio kampas laipsniais, radianais

Kriterijai

- Bo_2 – termogravitacijos parametras,
 $Bo_2 = Gr_q/(Re^{2,5}Pr)$
- Gr_q – Grashofo skaičius pagal šilumos srautą,
 $Gr_q = (g \cdot \beta \cdot d_e^4 \cdot q_w)/(\nu^2 \cdot \lambda)$
- Nu – Nuselto skaičius, $Nu = \alpha d/\lambda$
- Pr – Prandtlio skaičius, $Pr = \mu c_p/\lambda$
- Re – Reinoldso skaičius, $Re = u d/\nu$

Indeksai

- f – srautas
- T – priverstinė turbulencinė konvekcija
- w – sienelė
- in – įtekėjime

Gauta
2004 01 05

Literatūra

1. Poškas R., Poškas P., Kolesnikovas J. Šilumos atidavimo vertikaliame plokščiaame kanale turbulencinės mišrios konvekcijos atveju, esant priešingų kryptių srautams bei vienpusiam kaitinimui, eksperimentinis tyrimas // Energetika. 2000. Nr. 4. P. 53–60.
2. Poškas R., Šinkūnas S., Poškas P. Šilumos atidavimas išilgai vertikalaus kanalo esant priešingų kryptių turbulencinei mišriai konvekcijai // Mechanika. 2001. Nr. 5(31). P. 21–26.
3. Poškas R., Šinkūnas S., Poškas P. Šilumos atidavimo pasvirusiame plokščiaame kanale su vienpusiu kaitinimu, esant priešingų srautų turbulencinei mišriai konvekcijai, eksperimentinis tyrimas // Energetika. 2001. Nr. 1. P. 10–14.
4. Poškas R., Poškas P., Šinkūnas S. Šilumos atidavimo kitimas išilgai pasvirusio kanalo esant priešingų kryptių turbulencinei mišriai konvekcijai // Energetika. 2002. Nr. 3. P. 12–16.
5. Vilemas J., Čėsna B. and Survila V. Heat Transfer in Gas-Cooled Annular Channels. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1987. 226 p.

Robertas Poškas, Povilas Poškas

GENERALIZATION OF TURBULENT MIXED CONVECTION HEAT TRANSFER IN INCLINED FLAT CHANNEL WITH OPPOSING STABLY STRATIFIED AIR FLOW

S u m m a r y

An experimental investigation of heat transfer in an inclined ($\varphi = 20^\circ$ from horizontal position) flat channel with one-side heating (the upper wall is heated) for turbulent mixed convection opposing airflow conditions has been performed in the region of $Re = 4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$, $Gr_q = 1.7 \cdot 10^8 - 1.4 \cdot 10^{10}$.

The regularities of heat transfer in an inclined ($\varphi = 20^\circ$) flat channel have been found to be the same as at larger inclination angles.

Using these and earlier published data for other inclination angles, the correlation (3) has been suggested for the calculation of heat transfer rate for $\varphi = 90^\circ\text{--}20^\circ$.

Key words: heat transfer, turbulent mixed convection, opposing flows, stable stratification, air, inclined flat channel, generalization of results

Робертас Пошкас, Повилас Пошкас

**ОБОБЩЕНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В
НАКЛОННОМ ПЛОСКОМ КАНАЛЕ ПРИ
ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ
ТУРБУЛЕНТНОЙ СМЕШАННОЙ
КОНВЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ СТАБИЛЬНОЙ
СТРАТИФИКАЦИИ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА**

Резюме

Приведены результаты экспериментального исследования теплоотдачи в наклонном ($\varphi = 20^\circ$ от горизонтального положения) плоском канале с односторонним нагревом (нагревается верхняя стенка) при турбулентной смешанной конвекции в условиях противоположных направлений вынужденной и естественной конвекций в интервале $Re = 4 \cdot 10^3 -$

$- 4 \cdot 10^4$, $Gr_q = 1,7 \cdot 10^8 - 1,4 \cdot 10^{10}$. Экспериментальные исследования проведены в воздушном потоке.

Показано, что закономерности теплоотдачи в наклонном канале при $\varphi = 20^\circ$ еще являются такими же, как и в каналах при больших углах.

На основе этих данных и результатов исследований теплоотдачи при других наклонах канала, которые были опубликованы ранее, предложена обобщающая зависимость (3) для расчета теплоотдачи, когда угол наклона $\varphi = 90-20^\circ$.

Ключевые слова: теплоотдача, турбулентная смешанная конвекция, противоположные направления потоков, стабильная стратификация плотности, воздух, наклонный плоский канал, обобщение результатов