

УДК: 536.24:533

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ПІДВЕДЕНОГО ДО СТІНКИ КАНАЛУ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ НА ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ В'ЯЗКОСТІ НАДКРИТИЧНОЇ ВОДИ

Фіалко Н.М.¹, член-кореспондент НАН України, Носовський А.В.², академік НАН України, Меранова Н.О.¹, канд. техн. наук Шеренковський Ю.В.¹, канд. техн. наук, Піоро І.Л.³, іноземний член НАН України, докт.техн.наук.

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна

² Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, вул. Лисогорська, 12, м. Київ, 02000, Україна

³ Faculty of Energy Systems and Nuclear Science University of Ontario Institute of Technology 2000 Simcoe Str. N., Oshawa ON L1K 7K4 Canada

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2022.4>

Наводяться дані CFD аналізу полів динамічної та кінематичної в'язкості надкритичної води в круглих каналах при різних значеннях підведеного до стінки теплового потоку q .

The data of the CFD analysis of the fields of dynamic and kinematic viscosity of supercritical water in round channels for different values of the heat flux q supplied to the wall are presented.

Бібл. 15, рис. 5.

Ключові слова: надкритична вода, динамічна і кінематична в'язкість, CFD моделювання

d – діаметр труби;

G – масова швидкість;

L_l – довжина труби;

l_n – довжина ненагріваної початкової ділянки труби;

q – густина теплового потоку;

P – тиск;

r – радіальна координата;

T – температура;

Tu – інтенсивність турбулентності;

T_{pc} – температура псевдокритичного переходу

«псевдорідина–псевдогаз»;

Вступ

Подальша розбудова АЕС пов'язана, як відомо, із застосуванням на них енергоустановок з новими високоефективними ядерними реакторами четвертого покоління [1]. До перспективних типів таких реакторів належать, зокрема, водоохолоджувані реакторні установки із надкритичним тиском. Згідно з міжнародною програмою «Generation-IV» (SCWR) здійснюється розроблення промислових прототипів цих реакторів.

Одна з важливих особливостей надкритичної води як теплоносія в таких реакторах полягає в тому, що її теплофізичні властивості можуть різко та немонотонно змінюватися з температурою. При цьому така зміна є найбільш суттєвою в області, що відповідає псевдокритичному переходу «псевдорідина–псевдогаз». Вка-

x – поздовжня координата;

μ – динамічна в'язкість;

ν – кінематична в'язкість;

ρ – густина;

CFD – Computational Fluid Dynamics.

Індекс vx – відносить величини до вхідного перетину каналу.

зане зумовлює потребу в аналізі особливостей зміни теплофізичних властивостей надкритичної води в робочих каналах активної зони реакторів з надкритичними параметрами. Ефективним методом такого аналізу є комп'ютерне моделювання. Останнє набуває все більш широкого застосування для вирішення низки задач реакторної теплофізики [2-14].

Дана робота присвячена дослідженню на основі CFD моделювання закономірностей зміни динамічної і кінематичної в'язкості надкритичної води при її течії у вертикальних каналах.

Мета роботи і постановка завдань досліджень

Мета роботи полягає у порівняльному аналізі просторового розподілу в'язкості надкритичної води

при різних значеннях густини теплового потоку, що підводиться до стінки каналу за умови висхідної течії.

Просторові розподіли в'язкості надкритичної води в каналі визначалися за результатами розв'язування нелінійної асиметричної задачі змішаної конвекції при течії у вертикальних гладких трубах. З метою гідродинамічної стабілізації течії перед входом в канал розрахункова область збільшувалась вгору за потоком за рахунок ненагріваної початкової ділянки довжиною l_n . На вході в канал масова швидкість G , температура T_{ex} , тиск P_{ex} та інтенсивність турбулентності Tu приймалися постійними. На виході з каналу задавалися «м'які» граничні умови. На стінці труби приймалися постійні по її довжині значення густини теплового потоку q .

В ході досліджень розглядалися особливості просторового розподілу як динамічної μ , так і кінематичної ν в'язкості надкритичної води.

Методика проведення досліджень

Як метод дослідження застосовувалося комп'ютерне моделювання з використанням FLUENT коду. Фізичні властивості води, що фігурують в математичній моделі досліджуваного процесу визначалися за програмою NIST REFROP [15]. Виконані дослідження з верифікації моделей турбулентного переносу обґрунтували доцільність використання SST моделі турбулентності.

Розв'язування поставленої задачі здійснювалось при нерівномірній дискретизації розрахункової області, що містила 62400 комірок. Розмір найменшого кроку біля стінки труби становив $1,5 \cdot 10^{-3}$ м. Величина u^+ при цьому не перевищувала значення 0,7.

Обчислювані експерименти виконувались при таких вихідних даних: $d = 0,01$ м; $l_n = 1,2$ м; $L_l = 4,0$ м; $T_{ex} = 323$ °C; $P_{ex} = 24,0$ мікроПа; $Tu = 3\%$; $G = 500$ кг/(м²с); $q = 239$ кВт/м² і 310 кВт/м². Температурна залежність густини ρ та динамічної μ і кінематичної ν в'язкості надкритичної води при $P_{ex} = 24,0$ мікроПа наведено на рис. 1.

Як видно, у досліджуваному температурному інтервалі динамічна в'язкість та густина надкритичної води суттєво знижуються з ростом температури. Так, динамічна в'язкість води змінюється приблизно в три рази. При цьому найбільш значне зниження величин μ і ρ спостерігається в області псевдокритичного переходу «псевдорідина–псевдогаз» ($T_{pc} = 381,4$ °C). Щодо кінематичної в'язкості надкритичної води, то вона практично не змінюється при зростанні температури до величини дещо нижчої T_{pc} . З подальшим підвищенням рівня температури в області, що відповідає псевдогазу, кінематична в'язкість зростає.

Результати досліджень та їх аналіз

Побудова просторових розподілів динамічної і кінематичної в'язкості надкритичної води здійснювалась за температурними полями, одержаними в результаті розв'язування відповідної задачі змішаної конвекції.

Рисунок 2 ілюструє поле температур в каналі для двох значень підведеного до стінки теплового потоку q . (Тут для зручності сприйняття радіальна координата збільшена в 400 разів. Ізотерми, що відповідають псевдокритичній температурі T_{pc} , позначені на рисунках жирною лінією). Як видно з рис. 2, температурні поля надкритичної води в каналі якісно подібні для різних

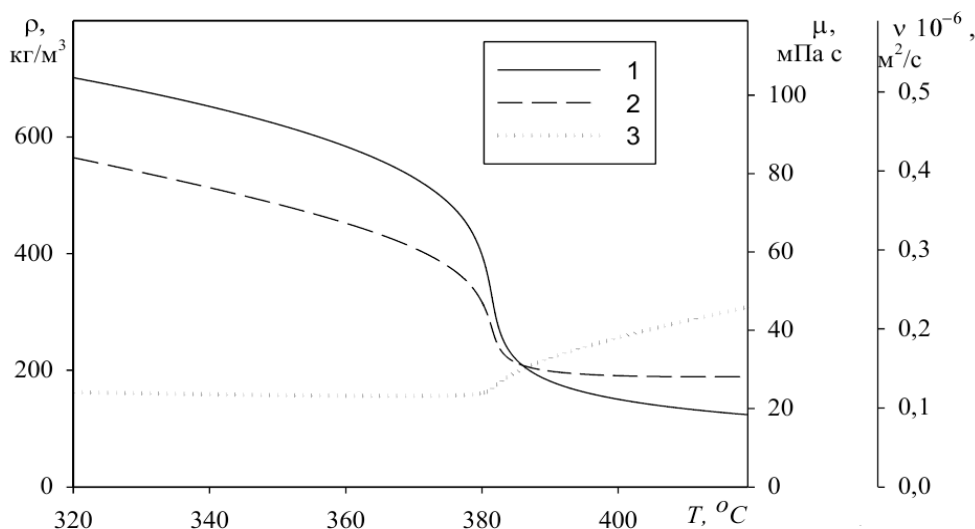


Рис. 1. Температурна залежність густини ρ (1) та динамічної μ (2) і кінематичної ν (3) в'язкості надкритичної води при $P_{ex} = 24,0$ МПа

значень теплового потоку q . Хоча при цьому мають місце і значні кількісні розбіжності. Так, ізотерма T_{pc} псевдокритичного переходу, що розділяє області псевдорідини і псевдогазу, розташована помітно ближче до вихідного перерізу каналу при $q = 239 \text{ кВт/м}^2$ (див. жирні лінії на графіку). Значення координати x_{pc} , яка відповідає перетину ізотерми T_{pc} з віссю труби, становить 3,08 м і 3,73 м при величинах підведеного до стінки труби теплового потоку $q = 310 \text{ кВт/м}^2$ та 239 кВт/м^2 . Щодо температури надкритичної води на виході з каналу, то вона є помітно меншою при $q = 239 \text{ кВт/м}^2$.

Звертає на себе увагу також те, що при обох значеннях теплового потоку q спостерігається досить різке

зростання температури на початковій ділянці труби. Далі вниз за потоком дане зростання уповільнюється (рис. 2).

На рис. 3 представлено поля динамічної в'язкості в каналі при різних значеннях підведеного до стінки теплового потоку q . Картина наведених полів μ свідчить про те, що вниз за течією динамічна в'язкість надкритичної води зменшується відповідно до збільшення температури потоку (зображення полів μ на рисунку стає світлішим). При цьому зниження рівня μ є більш значним для $q = 310 \text{ кВт/м}^2$.

Розподіл динамічної в'язкості по довжині труби при різних значеннях радіальної координати для двох вели-

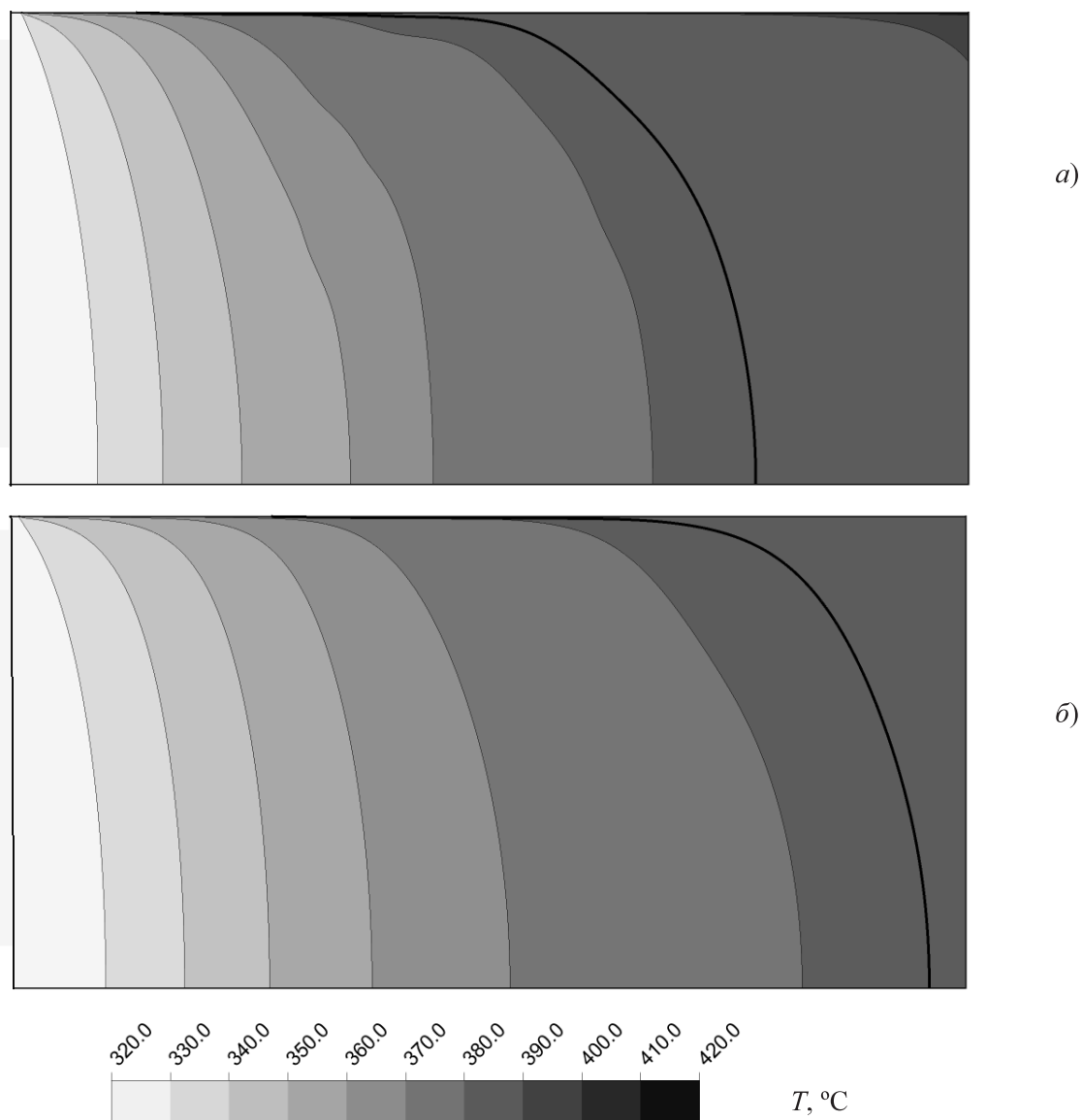


Рис. 2. Поля температур надкритичної води в каналі для різних значень підведеного до стінки теплового потоку q : а) $q = 310 \text{ кВт/м}^2$; б) $q = 239 \text{ кВт/м}^2$

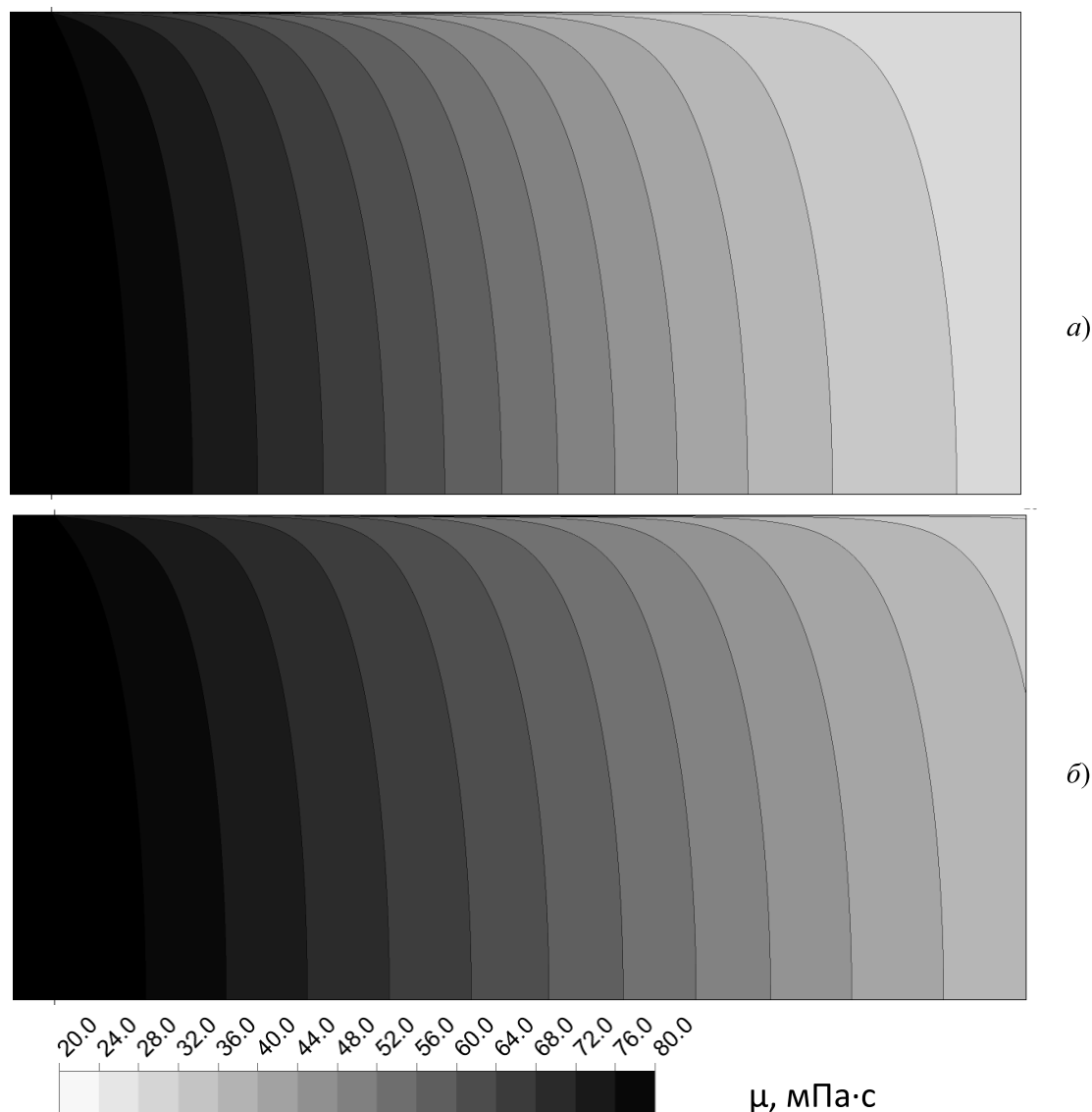


Рис. 3. Поля динамічної в'язкості μ надкритичної води в каналі при різних значеннях підведеного до стінки теплового потоку q : а) $q = 310 \text{ кВт/м}^2$; б) $q = 239 \text{ кВт/м}^2$

чин підведеного до стінки теплового потоку, ілюструє рис. 4. Наведені дані свідчать, що у фіксованих поперечних перерізах труби більші значення μ мають місце на осі труби і зменшуються з наближенням до її стінки. Вказана закономірність найбільш яскраво виявляється в центральній по довжині ділянці труби. Описана картина зміни μ по радіусу труби характерна для різних значень підведеного теплового потоку q . При цьому більшому значенню q ($q=310 \text{ кВт/м}^2$) відповідають помітно більші відмінності μ по радіусу труби на її початковій і центральній ділянці і дещо менші відмінності – на вихідній ділянці труби.

На рисунку 5 наведено розподіли по довжині труби кінематичної в'язкості надкритичної води. Як видно,

для обох розглянутих значень q , на початковій ділянці труби кінематична в'язкість практично не змінюється як за течією, так і по радіусу. Щодо вказаної початкової ділянки, то її протяжність є помітно більшою при меншому значенні q . А саме, при $q = 239 \text{ кВт/м}^2$ ця протяжність становить близько 1,5 м, а при $q=310 \text{ кВт/м}^2$ близько 1 м. Далі за течією спостерігається зростання кінематичної в'язкості, насамперед, поблизу стінки з подальшим його розповсюдженням до осі труби. При цьому вниз за потоком темп зростання μ збільшується.

Порівняльний аналіз розподілу ν по довжині труби для різних значень q свідчить про таке. При більших величинах q мають місце вищі значення ν у відповідних точках центральної і вихідної ділянки труби (рис. 5).

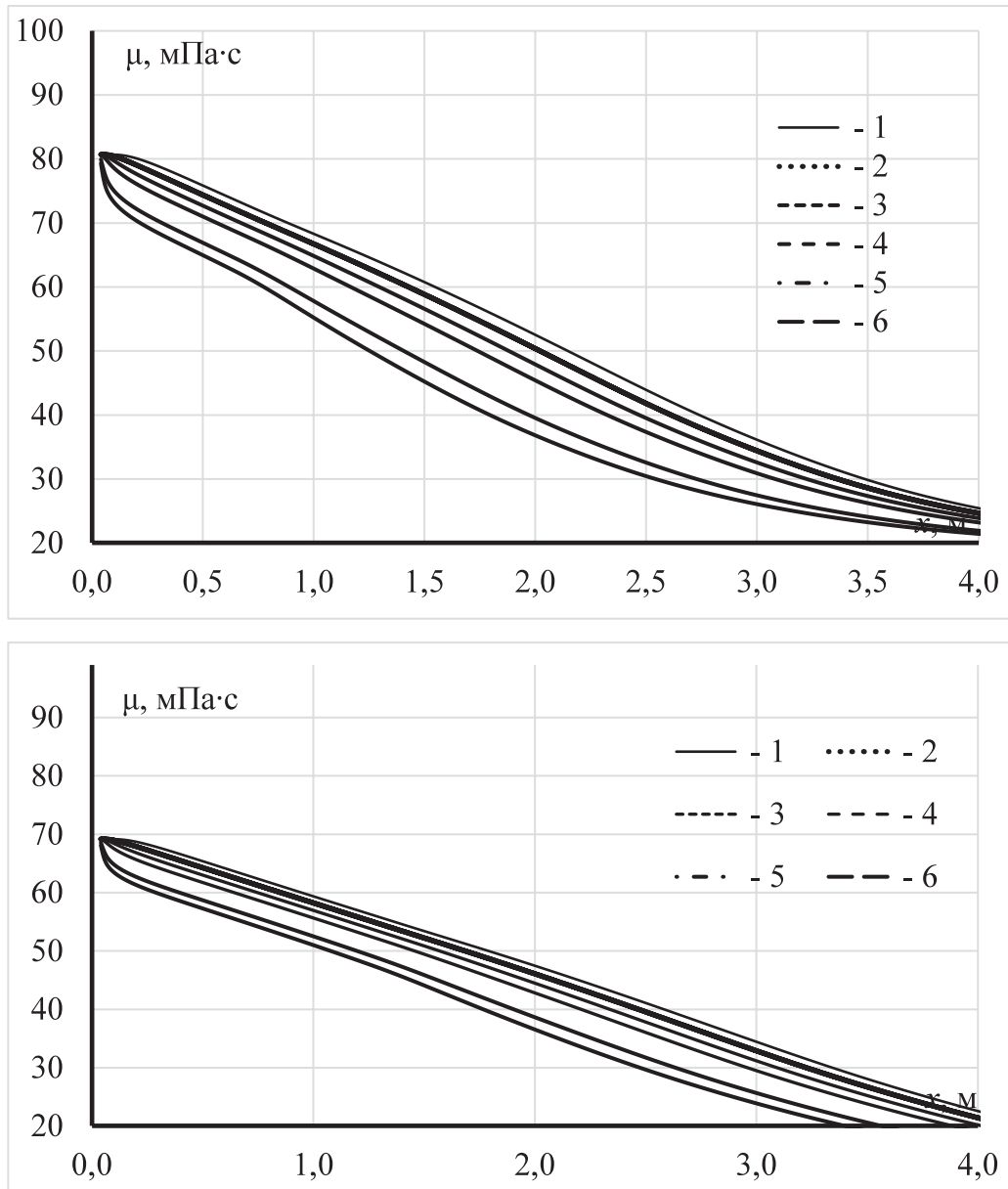


Рис. 4. Розподіл динамічної в'язкості μ надкритичної води по довжині труби при різних значеннях радіальної координати r для двох величин підведеного до стінки теплового потоку q : а) $q = 310 \text{ кВт/м}^2$; б) $q = 239 \text{ кВт/м}^2$; 1 – $r = 0.0 \text{ м}$; 2 – $r = 0.003 \text{ м}$; 3 – $r = 0.004 \text{ м}$; 4 – $r = 0.0045 \text{ м}$; 5 – $r = 0.0049 \text{ м}$; 6 – $r = 0.00495 \text{ м}$.

При цьому у фіксованих поперечних перерізах труби різниця $\Delta \nu$ значень кінематичної в'язкості на осі та поблизу труби є суттєво більшою при $q = 310 \text{ кВт/м}^2$. Так, на виході з труби величина $\Delta \nu$ при даному значенні q у 2,5 рази перевищує відповідне значення при $q = 239 \text{ кВт/м}^2$.

Висновки

Виконано дослідження з порівняльного аналізу просторових розподілів динамічної і кінематичної в'язкості

надкритичної води в каналах при різних значеннях підведеного до стінки теплового потоку q ($q = 310 \text{ кВт/м}^2$ і 239 кВт/м^2). При цьому:

1. Встановлено особливості температурних полів надкритичної води на нагріваній ділянці каналу, які визначають закономірності розподілів в'язкості води для різних значень q . Показано, що більшим значенням q відповідають менші розміри початкової ділянки каналу, де надкритична вода перебуває у псевдорідинному стані.

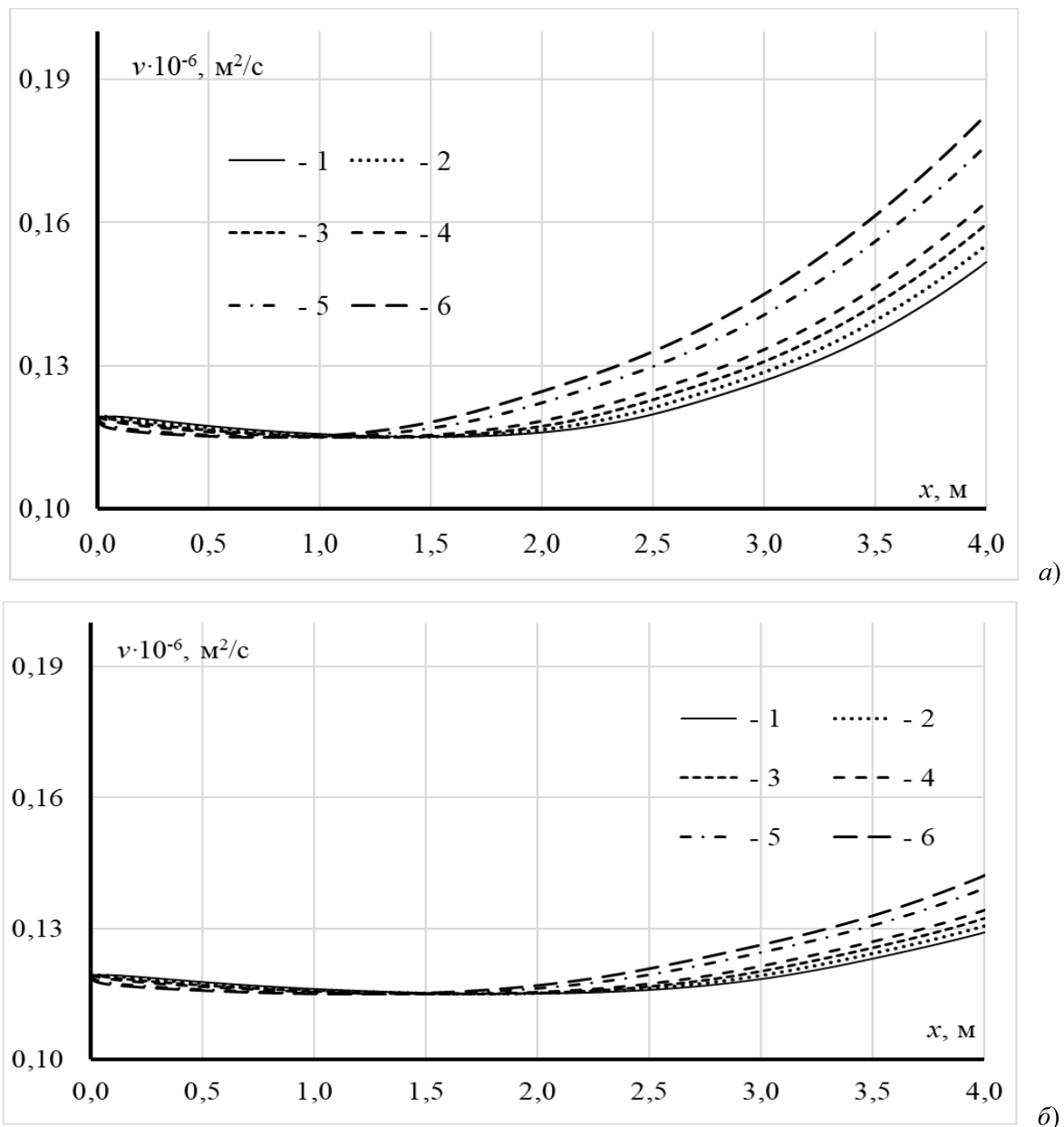


Рис. 5. Розподіли по довжині труби кінематичної в'язкості ν надкритичної води при різних значеннях радіальної координати r для двох величин підведеного до стінки теплового потоку q : а) $q = 310 \text{ кВт/м}^2$; б) $q = 239 \text{ кВт/м}^2$; 1 – $r = 0.0 \text{ м}$; 2 – $r = 0.003 \text{ м}$; 3 – $r = 0.004 \text{ м}$; 4 – $r = 0.0045 \text{ м}$; 5 – $r = 0.0049 \text{ м}$; 6 – $r = 0.00495 \text{ м}$.

2. Виявлено, що динамічна в'язкість μ надкритичної води суттєво знижується вниз за течією. Це зниження є тим значнішим, чим більша величина підведеного теплового потоку q . Показано, що помітно більші відмінності μ по радіусу труби на її початковій і центральній ділянці відповідають вищому значенню q ($q = 310 \text{ кВт/м}^2$).

3. Показано, що на початковій ділянці труби, яка є більшою при менших значеннях q , кінематична в'язкість ν надкритичної води є практично незмінною. За межами цієї ділянки вниз за течією спостерігається зростання в'язкості ν . При цьому вказане зростання виявляється значнішим при більших величинах теплового потоку q .

ЛІТЕРАТУРА

1. Шараєвський І.Г., Фіалко Н.М., Зімін Л.Б., Носовський А.В., Власенко Т.С., Шараєвський Г.І. Світові тенденції розвитку конструкцій водоохолоджуваних реакторів із надкритичним тиском. Ядерна енергетика та довкілля. 2020. №2(17). С. 3-15.
2. Фіалко Н.М., Піоро І.Л., Майсон Н.В., Меранова Н.О. Моделирование течения и теплообмена в гладких трубах при сверхкритических давлениях. Промышленная теплотехника. 2016. 38. №3. С.10-17.
3. Zvorykin, A., Fialko, N., Meranova, N., Aleshko, S., Maison, N., Voitenko, A., and Pioro, I. Computer Simulation of Flow and Heat Transfer in Bare Tubes at Supercritical Parameters. Proceedings of the 24th International Conference On Nuclear Engineering (ICONE-24), June 26-30, Charlotte, NC, USA, Paper #60390, 2016. 12 pages.
4. Фіалко Н.М., Піоро І.Л., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Шараєвський І.Г. Влияние массовой скорости потока на характеристики течения и теплообмена в гладких трубах при сверхкритических параметрах. Промышленная теплотехника. 2016. 38. №4. С.5-13.
5. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Аleshko С.А., Стрижеус С.Н., Войтенко А.Ю., Хміль Д.П., Брусинская Я.В., Остапчук Т.С. Характеристики теплообмена в вертикальных трубах при сверхкритических давлениях. Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики» / Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2017. С.130-133.
6. Zvorykin, A., Fialko, N., Sherenkovskiy, J., Aleshko, S., Meranova, N., Hanzha, M., Bashkir, I., Stryzheus, S., Voitenko, A., and Pioro, I. (2017). CFD Study on Specifics of Flow and Heat Transfer in Vertical Bare Tubes Cooled with Water at Supercritical Pressures. Proceedings of the 25th International Conference On Nuclear Engineering (ICONE-25), July 2-6 2017, Shanghai, China, Paper #66528, 13 pages.
7. Фіалко Н.М., Піоро І.Л., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О. CFD моделювання теплообміну при течії води надкритичних параметрів у вертикальних гладких трубах. Промышленная теплотехника. 2018. 40. №1. С.12-20.
8. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Аleshko С.А., Власенко Т.С., Шараєвський І.Г., Зимин Л.Б., Стрижеус С.Н., Хміль Д.П. Особенности изменения теплофизических свойств сверхкритической воды при течениях в круглых обогреваемых трубах. Научный вестник НЛТУ. 2018. 28. №3. С.117-121.
9. Фіалко Н.М., Носовський А.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Шараєвський І.Г., Піоро І.Л. Особливості течії надкритичної води в умовах змішаної конвекції. Промислова теплотехніка. 2018. 40. №3. С. 12-19.
10. Fialko N., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Aleshko S., Vlasenko T. Thermophysical properties of supercritical water at an upward flow in vertical bare channels. Міжнародна мультидисциплінарна конференція «Наука і техніка сьогодення: пріоритетні напрямки розвитку України та Польщі». м. Воломін 19-20 жовтня 2018 р. С. 116-120. ISBN 978-9934-571-55-8.
11. Фіалко Н.М., Піоро І.Л., Шеренковський Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Шараєвський І.Г. Влияние теплового потока на стенке канала и давления воды на характеристики течения и теплообмена в гладких трубах при сверхкритических параметрах. Промышленная теплотехника. 2016. 38. №5. С.5-13.
12. Фіалко Н.М., Носовський А.В., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Шараєвський І.Г., Піоро І.Л. CFD аналіз тепловіддачі надкритичної води в умовах змішаної конвекції. Промислова теплотехніка. 2018. 40. №4. С. 5-12.
13. Zvorykina A., Khmil D., Fialko N., Pioro I., Stryzheus S. CFD Analysis of Supercritical-Water Flow and Heat Transfer in Vertical Bare Tube 26th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE26-81045, (October 24, 2018), V009T16A003, 14 pages.
14. Фіалко Н.М., Носовський А.В., Піоро І.Л., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Хміль Д.П., Шараєвський І.Г., Зімін Л.Б. Дослідження особливостей теплообміну надкритичної води у вертикальних гладких трубах Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики». Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2019. С. 144-147.
15. National Institute of Standards and Technology, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties – REFPROP, NIST Standard Reference Database 23, Ver.8.0, Boulder, CO, U.S., Department of Commerce, 2007.

INFLUENCE OF THE VALUE OF THE HEAT FLOW SUPPLIED TO THE CHANNEL WALL ON THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE SUPERCRITICAL WATER VISCOSITY

Fialko N.M.¹, Nosovskiy A.V.², Meranova N.O.³, Sherenkovskiy Yu.V.⁴, Pioro I.L.⁵

¹ Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, str. Maria Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine;

² Nosovskiy A.V., Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Safety Problems of Nuclear Power Plants of the National Academy of Sciences of Ukraine, str. Lysogorska, 12, Kyiv, 02000, Ukraine

³ Meranova N.O., Candidate Technical Sciences. Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, str. Maria Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

⁴ Sherenkovskiy Yu.V., Candidate Technical Sciences, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, str. Maria Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

⁵ Foreign Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Faculty of Energy Systems and Nuclear Science University of Ontario Institute of Technology 2000 Simcoe Str. N., Oshawa ON L1K 7K4 Canada

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2022.4>

The data of CFD analysis of the fields of dynamic and kinematic viscosity of supercritical water in round channels for different values of the heat flux q supplied to the wall are presented. Based on the results of solving a nonlinear problem of mixed convection (forced and natural) with an upward flow of water in vertical channels, its temperature fields are obtained, which determine the corresponding viscosity distributions. The features of the formation of temperature fields for different values of q in the initial section of the channel, where supercritical water is in a pseudo liquid state, are considered. The research data on the regularities of the effect of the supplied heat flux q on the spatial distributions of the dynamic viscosity μ of supercritical water are presented. In particular, it is shown that the decrease in the value of μ downstream is more significant at large values of q . It has been established that the kinematic viscosity of supercritical water is practically unchanged in the initial section of the pipe, the length

of which is determined by the value of the supplied heat flux q . It is also shown that the increase in the viscosity of supercritical water downstream outside the specified section is the more significant, the larger the value of q .

References 15, figure 5.

Key words: supercritical water, dynamic and kinematic viscosity, CFD modeling.

1. Sharayevskiy I.G., Fialko N.M., Zimin L.B., Nosovskiy A.V., Vlasenko T.S., Sharayevskiy G.I. World Trends of Construction Development of water-cooled supercritical pressure reactor. Nuclear power and the environment. 2020. №2(17). P. 3-15.

2. Fialko N.M., Pioro I.L., Maison N.V., Meranova N.O. Simulation of Flow and Heat Transfer in Bare Tubes at Supercritical Pressures. Industrial Heat Engineering. 2016. 38. No. 3. P.10-17.

3. Zvorykin A., Fialko N., Meranova N., Aleshko S., Maison N., Voitenko A., and Pioro I. Computer Simulation of Flow and Heat Transfer in Bare Tubes at Supercritical Parameters. Proceedings of the 24th International Conference On Nuclear Engineering (ICONE-24), June 26-30, 2016, Charlotte, NC, USA, Paper #60390, 12 pages.

4. Fialko N.M., Pioro I.L., Maison N.V., Meranova N.O., Sharaevskiy I.G. Influence of the Mass Flux on the Characteristics of Flow and Heat Transfer in Bare Tubes at Supercritical Parameters. Industrial Heat Engineering. 2016. 38. No. 4. P.5-13.

5. Fialko N.M., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Strizheus S.N., Voitenko A.Yu., Khmil D.P., Brusinskaya Ya.V., Ostapchuk T.S. Characteristics of Heat Transfer in Vertical Tubes at Supercritical Pressures. Problems of Ecology and Operation of Energy Facilities. Institute of Industrial Ecology. Kyiv: IPC ALKON NAS of Ukraine. 2017. P. 130-133.

6. Zvorykin A., Fialko N., Sherenkovskiy J., Aleshko S., Meranova N., Hanzha M., Bashkir I., Strizheus S., Voitenko A., and Pioro I. CFD Study on Specifics of Flow and Heat Transfer in Vertical Bare Tubes Cooled with Water at Supercritical Pressures. Proceedings of the 25th International Conference On Nuclear Engineering (ICONE-25), July 2-6 2017, Shanghai, China, Paper #66528, 13 pages.

7. Fialko N.M., Pioro I.L., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.A. CFD Modeling of Heat Transfer for Supercritical Water Flow in Vertical Bare Tubes. Industrial Heat Engineering. 2018. 40, No. 1. P.12-20.

8. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Ju. V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Vlasenko T.S., Sharaevskiy I.G., Zimin L.B., Strizheus S.N., Khmil D.P. Features of the Change in the Thermophysical Properties of Supercritical Water during Flow in Round Heated Tubes. Scientific Bulletin of UNFU. 2018. 28, №3. P.117-121.

9. *Fialko N.M., Nosovskiy A.V., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Sharaevskiy I.G., Pioro I.L.* Features of the Flow of Supercritical Water under Conditions of Mixed Convection. *Industrial Heat Engineering*. 2018. 40. №3. P. 12-19.
10. *Fialko N., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Aleshko S., Vlasenko T.* Thermophysical properties of supercritical water at an upward flow in vertical bare channels. *International multidisciplinary conference "Science and technology of the present: priority directions of development of Ukraine and Poland."* M. Volomin, October 19-20, 2018. P. 116-120. ISBN 978-9934-571-55-8.
11. *Fialko N.M., Pioro I.L., Sherenkovskiy Ju.V., Maison N.V., Meranova N.O., Sharaevskiy I.G.* Influence of Heat Flux on the Channel Wall and Water Pressure on the Characteristics of Flow and Heat Transfer in Bare Tubes at Supercritical Parameters. *Industrial Heat Engineering*. 2016. 38. No. 5. P.5-13.
12. *Fialko N.M., Nosovskiy A.V., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Sharaevskiy I.G., Pioro I.L.* CFD Analysis of Heat Transfer of Supercritical Water under Conditions of Mixed Convection. *Industrial Heat Engineering*. 2018. 40. №4. P. 5-12.
13. *Zvorykina A., Khmil D., Fialko N., Pioro I., Stryzheus S.* CFD Analysis of Supercritical-Water Flow and Heat Transfer in Vertical Bare Tube. 26th International Conference on Nuclear Engineering, (ICONE-26), October 24, 2018, V009T16A003; 14 pages.
14. *Fialko N.M., Nosovskiy A.V., Pioro I.L., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Khmil D.P., Sharaevskiy I.G., Zimin L.B.* Investigation of the Features of Heat Transfer of Supercritical Water in Vertical Bare Tubes. *Institute of Industrial Ecology*. Kyiv: IPC ALKON NAS of Ukraine, 2019. P.144-147.
15. *National Institute of Standards and Technology, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties – REFPROP, NIST Standard Reference Database 23, Ver.8.0, Boulder, CO, U.S., Department of Commerce, 2007.*

Отримано 01.11.2022
Received 01.11.2022