

Фиалко Наталия Михайловна

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины, заведующая отделом Института технической теплофизики НАН Украины

Fialko Nataliia

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Head of the Department Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Прокопов Виктор Григорьевич

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института технической теплофизики НАН Украины

Prokopyov Viktor

Doctor of Technical sciences, Professor, Leading Researcher Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Меранова Наталия Олеговна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник

Института технической теплофизики НАН Украины

Meranova Nataliia

Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, Leading Researcher Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Алёшко Сергей Александрович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Института технической теплофизики НАН Украины

Aleshko Sergey

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Полозенко Нина Петровна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Института технической теплофизики НАН Украины

Polozenko Nina

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Кутняк Ольга Николаевна

научный сотрудник,

Института технической теплофизики НАН Украины

Kutnyak Olha

Researcher Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Хмиль Дмитрий Петрович

младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Khmil Dmytro

Junior Research

Institute of Engineering Thermophysics of

National Academy of Sciences of Ukraine

Шараевский Игорь Георгиевич

доктор технических наук, доцент, заведующий сектором

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины

Sharaievskiy Ihor

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Sector

Institute of NPP Safety Problems of NAS of Ukraine

Зимин Леонид Борисович

доктор технических наук, старший научный сотрудник,

ведущий научный сотрудник

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины

Zimin Leonid

Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, Leading Researcher

Institute of NPP Safety Problems of NAS of Ukraine

Власенко Татьяна Станиславовна

кандидат физико-математических наук, заведующая отделом

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины

Vlasenko Tetiana

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Head of Department

Institute of NPP Safety Problems of NAS of Ukraine

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-12-7462

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ВОДЫ В ОБОГРЕВАЕМЫХ ГЛАДКИХ ТРУБАХ

REGULARITIES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAT CONDUCTIVITY OF SUPERCRITICAL WATER IN HEATED BARE TUBES

Аннотация. Представлены результаты исследования полей теплопроводности сверхкритической воды при ее восходящем течении в вертикальных каналах.

Ключевые слова: теплопроводность сверхкритической воды, CFD моделирование, температурные поля.

Summary. The results of studying the fields of thermal conductivity of supercritical water during its ascending flow in vertical channels are presented.

Key words: thermal conductivity of supercritical water, CFD simulation, temperature fields.

Актуальные проблемы обеспечения теплогидравлической надежности перспективных ядерных реакторов со сверхкритическими параметрами непосредственно связаны с решением ряда задач реакторной теплофизики [1–15]. Одной из таких задач является исследование структуры распределения теплофизических свойств сверхкритической воды в каналах для движения теплоносителя в активной зоне. Данные свойства в рассматриваемых условиях, как известно, претерпевают существенные изменения и в большой мере определяют характеристики течения и теплообмена.

Настоящая статья посвящена анализу пространственной картины распределения теплопроводности сверхкритической воды при ее восходящем течении в вертикальных гладких трубах.

На рисунке 1 представлена зависимость $\lambda = f(T)$ для сверхкритической воды. Как видно, в рассматриваемом температурном интервале коэффициент теплопроводности сверхкритической воды меняется примерно в пять раз. При этом в целом имеет место тенденция к падению λ с ростом температуры. Относительно небольшое локальное повышение коэффициента теплопроводности воды имеет место лишь в области псевдокритического перехода «псевдожидкость-псевдогаз». Обращает на себя внимание также тот факт, что существенно более значительное понижение λ с увеличением температуры наблюдается в области температур выше температуры псевдокритического перехода T_{pc} . Приведенные на рис. 1 температурные зависимости теплопроводности воды учитывались при решении задачи о картине распределения λ в канале.

Построение указанных распределений коэффициента теплопроводности сверхкритической воды

осуществлялось по температурным полям, найденным в результате решения соответствующей задачи теплопереноса. Детальная постановка этой задачи, отвечающей условиям смешанной конвекции при тении сверхкритической воды в трубе приведена в [7]. Здесь же описаны особенности численной реализации решения задачи.

Ниже, на рис. 2, 3 представлены характерные результаты CFD моделирования при таких исходных параметрах: длина предвключенного необогреваемого участка трубы — 1,2 м; длина обогреваемого участка трубы — 4,0 м; диаметр трубы — 0,001 м; температура и давление во входном сечении канала — 323 °С и 24,0 МПа; плотность теплового потока, подводимого к стенке трубы на ее обогреваемом участке — 310 кВт/м².

Рисунок 2 иллюстрирует поле температур в канале. (Здесь для удобства представленная радиальная координата увеличена в 400 раз. Изотерма, отвечающая псевдокритической температуре T_{pc} , обозначена на рисунке жирной линией). Согласно приведенным данным, псевдокритический переход «псевдожидкость-псевдогаз», отвечающий изотерме T_{pc} , наблюдается на достаточно большом удалении от входного сечения канала ($x_{pc} = 3,08$ м, где x_{pc} — координата, отвечающая пересечению изотермой T_{pc} оси трубы). Как видно из рис. 2, на начальном участке трубы наблюдается весьма резкое возрастание температуры. Далее вниз по течению данный рост замедляется.

На рисунке 3 представлено поле коэффициента теплопроводности сверхкритической воды в канале. Картина приведенного поля λ свидетельствует о том, что пространственное распределение коэффициента теплопроводности в канале носит

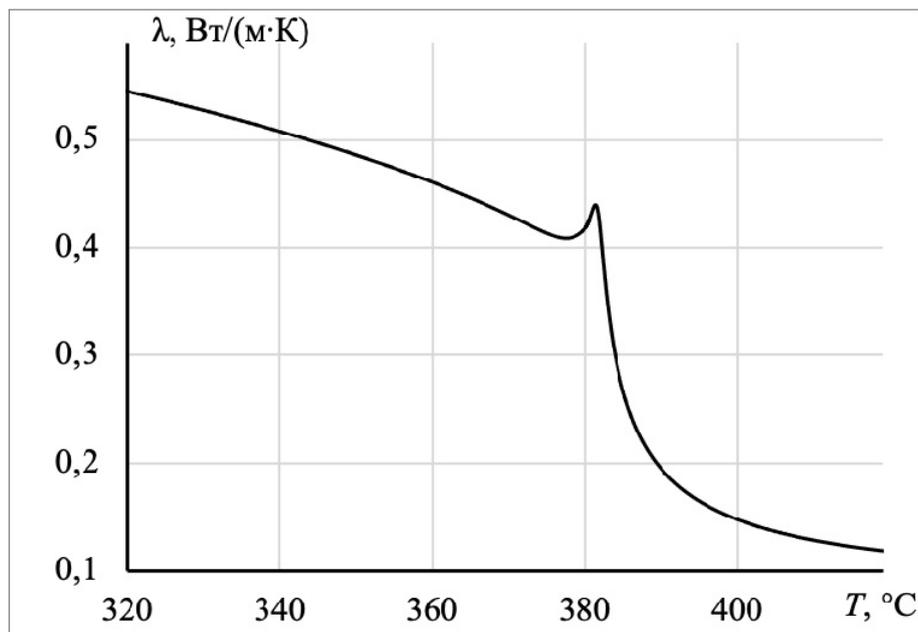


Рис. 1. Зависимость от температуры коэффициента теплопроводности сверхкритической воды при давлении 24,0 МПа

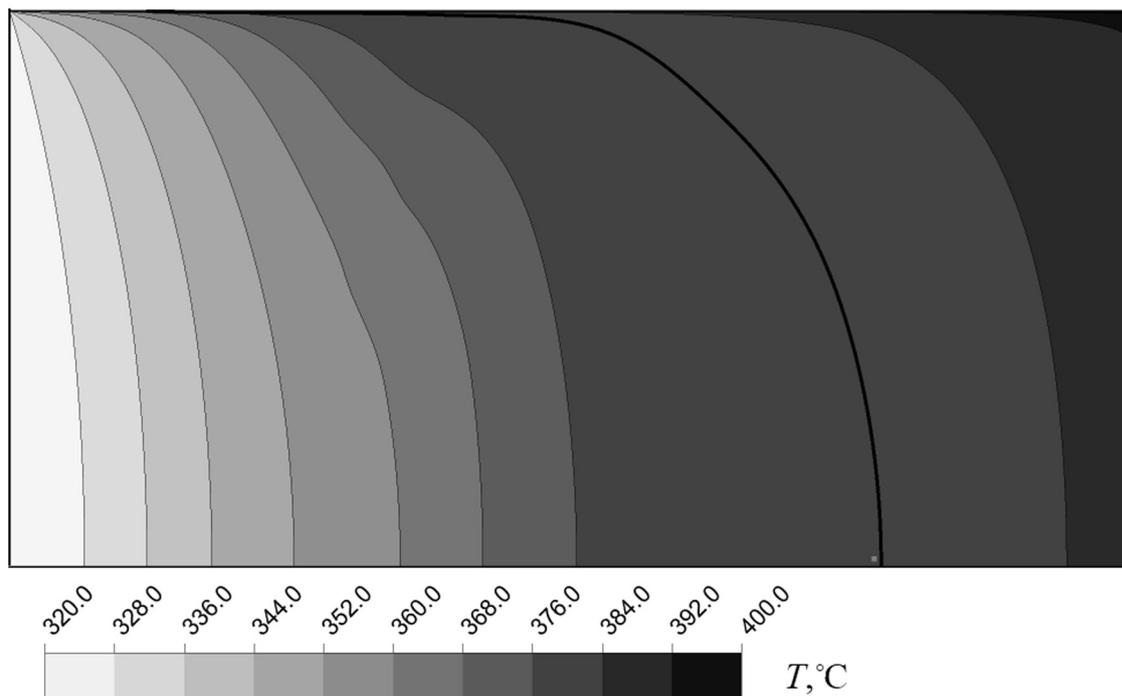


Рис. 2. Поле температуры на обогреваемом участке канала

немонотонный характер. Как видно, на значительном участке трубы, прилежащем к ее входному сечению, λ сверхкритической воды вниз по течению увеличивается (изображение поля на рисунке становится более темным). Однако, далее с ростом продольной координаты имеет место зона локального повышения λ , что отвечает подобласти, в которой температура воды увеличивается от значения соответствующего локальному минимуму на кривой

$\lambda = f(T)$ до локального максимума. (На рисунке 3 указанная зона повышения λ представлена светлым участком, который следует за прилежащей ко входу в канал подобластью, изображенной с постоянным по потоку затемнением).

За зоной увеличения коэффициента теплопроводности вниз по потоку следует участок, где λ претерпевает дальнейшее падение в соответствии с повышением температуры потока (соответственно

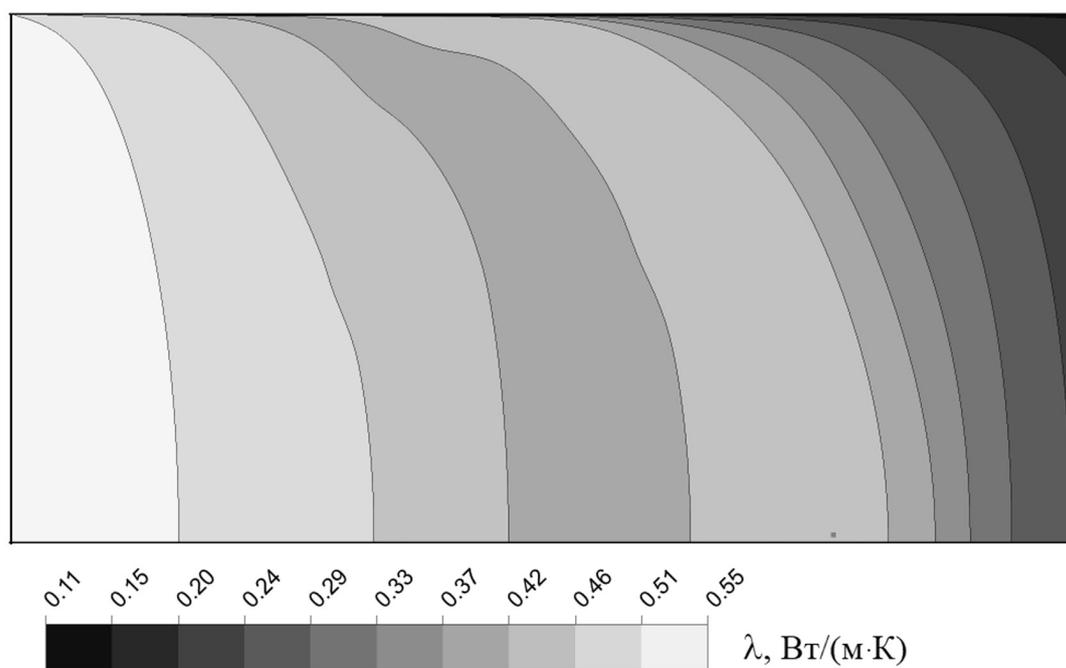


Рис. 3. Поле коэффициента теплопроводности сверхкритической воды на обогреваемом участке канала

поля на рисунке вблизи выходного сечения канала характеризуются более интенсивным затемнением).

Таким образом, в результате проведенных исследований выполнен анализ основных особенностей

полей коэффициента теплопроводности сверхкритической воды при ее восходящем течении в вертикальных гладких трубах.

Литература

1. Фяалко Н.М., Пяоро И.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.
2. 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 p.
3. Фяалко Н.М., Пяоро И.Л., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Шараевский И.Г. Влияние массовой скорости потока на характеристики течения и теплообмена в гладких трубах при сверхкритических параметрах. Промышленная теплотехника. 2016. 38. № 4. С. 5–13.
4. Zvorykina A., Pieman W., Saltanov E., Grande L., Pioro I., Fialko N. Current status and future applications of supercritical pressures in power engineering. Proceedings of 20th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-20), July 30 — August 3, 2012, Anaheim, CA, USA. 13 p.
5. Шараевський І.Г., Фяалко Н.М., Носовський А.В., Зімін Л.Б., Власенко Т.С., Шараевський Г.І. Проблемні питання теплогідрравлічного розрахунку активних зон перспективних водоохолоджуваних реакторів з надкритичними параметрами. Ядерна енергетика та довідля. 2020. № 14(19). 2020. С. 3–15.
6. Zvorykin A., Fialko N., Sherenkovskiy J., Aleshko S., Meranova N., Hanzha M., Bashkir I., Stryzheus S., Voitenko A., 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 p.
7. Фяалко Н.М., Пяоро И.Л., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О. CFD моделювання теплообміну при течії води надкритичних параметрів у вертикальних гладких трубах. Промислова теплотехніка. 2018. 40. № 1. С. 12–20.
8. Фяалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Власенко Т.С., Шараевский И.Г., Зимин Л.Б., Стрижеус С.Н., Хміль Д.П. Особенности изменения теплофизических свойств сверхкритической воды при течении в круглых обогреваемых трубах. Науковий вісник НЛТУ. 2018. 28. № 3. С. 117–121.
9. Фяалко Н.М., Носовський А.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Шараевський І.Г., Пяоро І.Л. Особливості течії надкритичної води в умовах змішаної конвекції. Промышленная теплотехника. 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 сьогодні: пріоритетні напрямки розвитку України та Польщі». м. Воломін 19–20 жовтня 2018 р. С. 116–120. ISBN 978-9934-571-55-8.
11. Фяалко Н.М., Пяоро И.Л., Шеренковский Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Шараевский И.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. Фяалко Н.М., Носовський А.В., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Шараевський І.Г., Пяоро 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 p.
14. Фяалко Н.М., Носовський А.В., Пяоро І.Л., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Хміль Д.П., Шараевський 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.