

Материалы

XI-й Международной научно-технической конференции
«Инновационные машиностроительные технологии,
оборудование и материалы – 2022»
(МНТК-ИМТОМ – 2022»)

Часть 2



8 декабря 2022 года

г. Казань

Такой подход называется *методом вариации произвольных постоянных*. Тогда при подстановке $x(t) \square X(t)c(t)$ в (7) получим

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \frac{d}{dt} [X(t)c(t)] = \dot{X}(t)c(t) + X(t)\dot{c}(t) = \overbrace{A(t)X(t)}^{A(t)x(t)} c(t) + X(t)\dot{c}(t) \equiv \\ &\equiv \overbrace{A(t)X(t)c(t)}^{A(t)x(t)} + f(t).\end{aligned}$$

Литература

1. Filina O., Vakhitov K., Starodubets A., Salnikova O. Vibration diagnostics of the brush-collector assembly, as means of assessing // В сборнике: Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022. 4. 2022.
2. Филина О.А., Ахметов Р.Р., Сахапов Д.В. Анализ однородности исходного статистического материала // В сборнике: Инновационный дискурс развития современной науки. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. г. Петрозаводск, 2022. С. 138-142.
3. Филина О.А., Гатиятуллин Т.А., Головин К.А., Оморов М.Б., Росляков А.В. Классификация систем технической диагностики и неразрушающего контроля на АЭС // В сборнике: Современные научные исследования: теория, методология, практика. Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции. Уфа, 2022. С. 25-29.
4. Ахметов Р.Р., Валиуллов Э.Ф., Сахапов Д.В., Зинатуллин А.Р., Филина О.А. Оценка параметров теоретических распределений // В сборнике: Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика. Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции. Уфа, 2022. С. 41-46.

ТЕПЛООБМЕН В ПОРИСТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ВЯЗКОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Хайбуллина А.И., доцент

Хайруллин А.Р., аспирант

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация. В работе проведено численное моделирование теплообмена и гидродинамики в пористой среде. Численное исследование проводилось в программном продукте Ansys Fluent. Показана зависимость теплообмена пены в зависимости от числа Прандтля при различных числах Рейнольдса.

Abstract. In this work, we performed a numerical simulation of heat transfer and hydrodynamics in a porous medium. The numerical study was performed in the

Ansys Fluent software. The dependence of foam heat transfer as a function of the Prandtl number at various Reynolds numbers is shown.

Ключевые слова: пористая среда, теплообмен, численное моделирование.

Key words: porous medium, heat transfer, numerical simulation.

Высокопористые металлические структуры с открытыми порами обладают высокой теплопроводностью и высокой удельной поверхностью. Сложная трехмерная структура усиливает конвективный теплообмен за счет перемешивания потока [1]. Применение высокопористых структур, позволяет повысить эффективность теплообменных процессов за счет интенсификации теплообмена [2,3]. Несмотря на то что имеется большее количество теоретических и экспериментальных исследований посвященных данной теме. Количество работ в этой области пополняется каждый год [4–6].

Применение численного моделирование при исследовании теплообмена позволяет заменить, трудоемкие экспериментальные исследования и получить дополнительную информацию о характеристиках теплообмена и гидродинамики течения. При численном моделировании конвективного теплообмена, в пористых средах на уровне пор, необходимо воспроизвести сложную трехмерную структуру. Для этих целей применяются различные методы. Построение пористых структур производится с помощью рентгеновского сканирования поверхности [7], что требует применение дорогостоящего оборудования. При построении однородной структуры применяются ячейки Кельвина [8,9], бсс [10] и т.д. Последнее время в научной литературе встречается метод основанной на методе диаграммы Вороного. Данный метод в отличие от других методов позволяет воспроизвести неоднородную структуру пор пены.

В данной работе проведено численное исследование конвективного теплообмена в пене сгенерированной с помощью метода диаграммы Вороного. Число Рейнольдса находилось в диапазоне от 10 до 100, число Прандтля от 0,7 до 5,1. Количество пор на дюйм по длине пены было 80, порозность пены составляла 0,743.

Число Рейнольдса Re основывалось на диаметре фибр для скорости в пористой среде. На баковых стенках задавалась граничное условие симметрия, на стенках пористой среды тепловой поток 5 Вт/м^2 . Численное моделирование проводилось в Ansys Fluent. Количество элементов расчетной сетки составляло 1,1 млн. В данной работе использовалась та же математическая модель, что и в работе [11], при других режимных параметрах.

На рис. 1 показана интенсивность теплообмена в зависимости от числа Прандтля. С увеличением числа Прандтля наблюдается рост конвективного теплообмена при всех исследованных числах Рейнольдса. При числе Рейнольдсе 100 число Нуссельта увеличилось в 2 раза. При минимальном числе Рейнольдсе 10 число Нуссельта для воды было больше числа Нуссельта воздуха в 1,39 раза. Теплообмен в пористой среде увеличивался с увеличением числа

Рейнольдса. Максимальное число Нуссельта $Nu = 12$, наблюдалась при числе Рейнольдса 100 и числе Прандтля 5,1.

На рис. 2,3 показано температурное и скоростное поле для воздуха при числе Рейнольдса 10. На рис. 4,5 показано температурное и скоростное поле для воды. Течение в пористой структуре имеет неоднородную структуру с застойными зонами позади фибр.

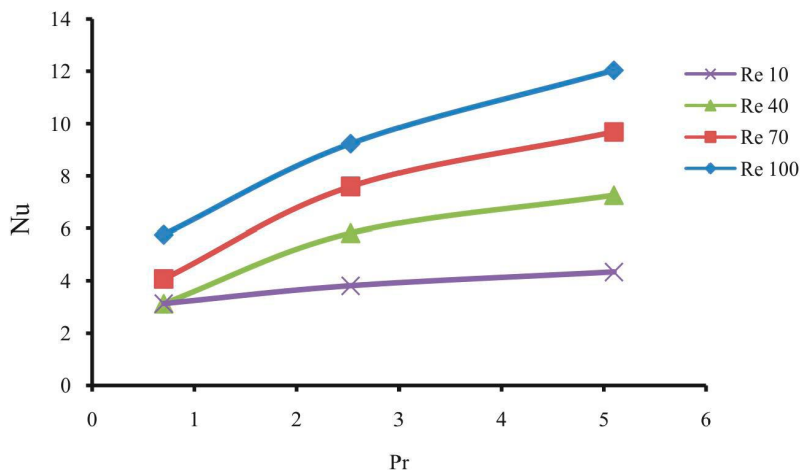


Рис. 1. Число Нуссельта в зависимости от числа Прандтля при различном числе Рейнольдса.

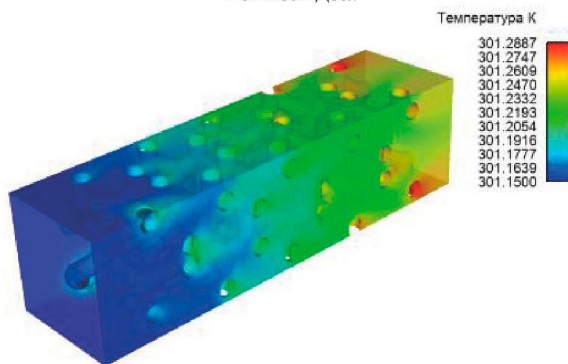


Рис. 2. Температурное поле пористой среды, при числе Рейнольдса 10 и числе Прандтля 0,7 (воздух).

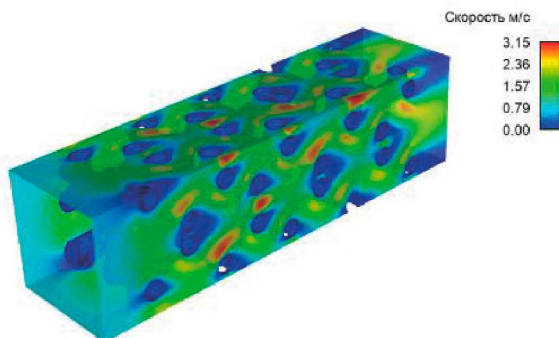


Рис. 3. Поле скоростей пористой среды, при числе Рейнольдса 10 и числе Прандтля 0,7 (воздух).

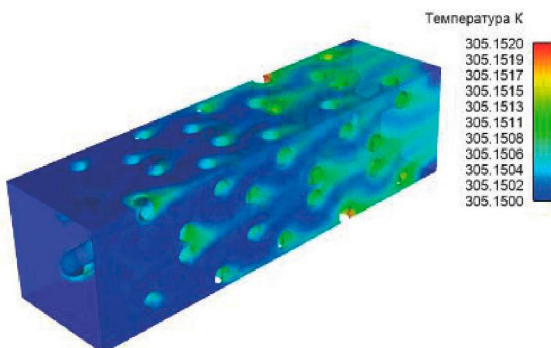


Рис. 4. Температурное поле пористой среды, при числе Рейнольдса 10 и числе Прандтля 5,1 (вода).

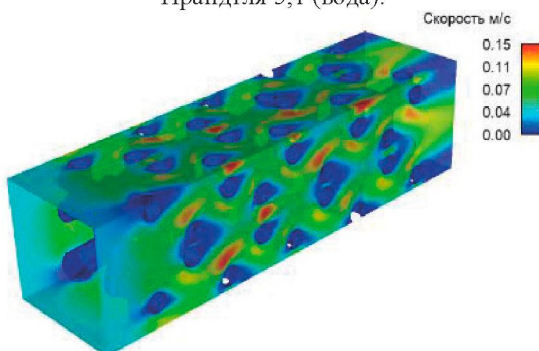


Рис. 5. Поле скоростей пористой среды, при числе Рейнольдса 10 и числе Прандтля 5,1 (вода).

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

Список литературы:

1. Wang H., Guo L., Chen K. Theoretical and experimental advances on heat transfer and flow characteristics of metal foams // *Sci. China Technol. Sci.* 2020. Vol. 63, № 5. P. 705–718.
2. Rambabu S., Parthasarathy P., Ratna kishore V. A numerical study of forced convection in ideal and randomized reticulated porous structures and a proposal for a new correlation // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2022. Vol. 184. P. 122292.
3. Sun M. Forced convection heat transfer: A comparison between open-cell metal foams and additive manufactured kelvin cells // *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2022. P. 9.
4. Chen K. et al. Numerical simulation study on heat transfer enhancement of a heat exchanger wrapped with metal foam // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 103–110.
5. G T. et al. Numerical assessment of thermal characteristics of metal foams of orderly varied pore density and porosity under different convection regimes // *International Journal of Thermal Sciences*. 2022. Vol. 172. P. 107288.
6. Durmus F.Ç., Maiorano L.P., Molina J.M. Open-cell aluminum foams with bimodal pore size distributions for emerging thermal management applications // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2022. Vol. 191. P. 122852.
7. Liu J. Numerical simulation on convective heat transfer characteristics in porous media based on the digital rock technology // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2022. P. 12.
8. Sun M. et al. Thermal and hydraulic behaviours of Kelvin cells from metallic three-dimensional printing // *Applied Thermal Engineering*. 2023. Vol. 219. P. 119433.
9. Solovev S.A. et al. Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer in an Open-Cell Foam Catalyst on Example of the Acetylene Hydrogenation Reaction: 1 // *ChemEngineering. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2022. Vol. 6, № 1. P. 11.
10. Suleiman A.S., Dukhan N. Long-domain simulation of flow in open-cell mesoporous metal foam and direct comparison to experiment // *Microporous and Mesoporous Materials*. 2014. Vol. 196. P. 104–114.
11. Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Ильин В.К., Синявин А.А. // Теплообмен и гидравлическое сопротивление пористых сред сгенерированных методом диаграммы вороного. Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 5. С. 61-64.