

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2022 Issue: 10 Volume: 114

Published: 17.10.2022 <http://T-Science.org>

Issue



Article



Andrey Igorevich Popov

Samara State Technical University
research assistant

Dmitriy Mihailovich Bragin

Samara State Technical University
assistant

Sofya Alekseevna Zinina

Samara State Technical University
assistant

Anton Vladimirovich Eremin

Samara State Technical University
Head of the Department of Industrial Heat Power Engineering

Oluwapelumi Johnson Olatuyi

Samara State Technical University
researcher

HYDRODYNAMIC OF THE SCHOEN'S I-WP TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACE

Abstract: The article presents a numerical experiment to determine the hydrodynamic characteristics of a triply-periodic minimal surface (TPMS) of Schoen type I-WP. In the geometry of the triply-periodic minimal surface I-WP, two characteristic parameters are distinguished: the length of the cube edge in which the I-WP cell is inscribed and the thickness of the cell wall. By changing these parameters, it is possible to control such properties of the TPMS structure as porosity, transparency, thermal conductivity, etc. The Ansys software package is used to numerically study the flow of fluid through a channel with an insert made of TPMS. Dependences of porosity on characteristic geometric dimensions are constructed. Contours and fields of velocity distribution in the channel are obtained. Also in the study, pressure drops inside the elementary cell were noted.

Key words: Flow, porosity, Schoen's I-WP, TPMS, pressure drop.

Language: Russian

Citation: Popov, A. I., et al. (2022). Hydrodynamic of the schoen's I-WP triply periodic minimal SURFACE. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (114), 151-157.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-10-114-27> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.10.114.27>

Scopus ASCC: 2500.

ГИДРОДИНАМИКА ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЕНА ТИПА I-WP

Аннотация: В статье представлен численный эксперимент по определению гидродинамических характеристик трижды периодической минимальной поверхности (ТПМП) Шёна типа I-WP. В геометрии трижды периодической минимальной поверхности I-WP выделено два характерных параметра: длина ребра куба, в которой вписана ячейка I-WP и толщина стенки ячейки. Изменяя данные параметры можно регулировать такие свойства ТПМП структуры, как пористость, просветность, теплопроводность и т.д. При помощи программного пакета Ansys проводится численное исследование течения жидкости через канал

Impact Factor:

| | | |
|--------------------------|------------------------|----------------------|
| ISRA (India) = 6.317 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) = 1.582 | РИИЦ (Russia) = 3.939 | PIF (India) = 1.940 |
| GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.771 | IBI (India) = 4.260 |
| JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 7.184 | OAJI (USA) = 0.350 |

со вставкой из ТПМП. Построены зависимости пористости от характерных геометрических размеров. Получены контуры и поля распределения скорости в канале. Так же в исследовании отмечены перепады давления внутри элементарной ячейки.

Ключевые слова: Поток, пористость, Schoen's I-WP(R), ТПМП, падение давления.

Введение

УДК 532.5

На сегодняшний день существует большое количество различных теплообменных устройств, где в качестве греющей или обогреваемой среды используются различные жидкости. Среди таких теплообменников можно выделить: кожухотрубные, секционные, труба в трубе, пластинчатые, ребристые, микроканальные и т.д.

Важной задачей при проектировании и изготовлении теплообменников является увеличение их мощности. Для этого, как правило, применяют оребрение поверхностей контакта с греющей или обогреваемой средой. Такие ребра могут иметь различную форму (пластина, цилиндр и др.) и размер [1-3]. Наибольший интерес представляют ребра, имеющие форму трижды периодических минимальных поверхностей (ТПМП). Существует ряд исследований, посвященный изучению теплообменных устройств, в которых используются различные ТПМП, такие как: поверхности Шварца, Неовиуса, Шёна и другие [4-6]. Например, в статье [4] сравниваются теплообменники с различной топологией, основанной на ТПМП Шварца типа Р и Гироиде. А в работе [5] описывается метод проектирования и создания модели компактного высокоэффективного теплообменника, состоящего из трижды периодических минимальных поверхностей, на языке программирования VDF.

Не смотря на разнообразную и сложную геометрическую форму работа таких устройств основана на классических принципах переноса тепла и массы. Для описания движения несжимаемой жидкости применяется система уравнений Навье-Стокса, включающая уравнение движения и неразрывности. При решении взаимосвязанных задач тепло и массопереноса в систему уравнений добавляется уравнение теплопроводности. Для решения таких задачи применяются различные численные и аналитические методы [7-10]. Среди численных методов отдельно можно выделить методы конечных элементов и объемов, которые применяется во множестве современных программных пакетов (ANSYS, OpenFOAM, Comsol) для моделирования задач гидродинамики, механики, теплообмена и др.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод об актуальности применения и исследования трижды периодических минимальных поверхностей в теплообменных устройствах. В настоящей работе проводится исследование гидродинамики трижды периодической минимальной поверхности Шёна типа I-WP с помощью программного пакета ANSYS.

Постановка задачи

В данном исследовании рассматривается ТПМП Шёна типа I-WP. Элементарная ячейка данной поверхности, а также ТПМП среда, основанная на I-WP структуре, изображены на рисунке 1.

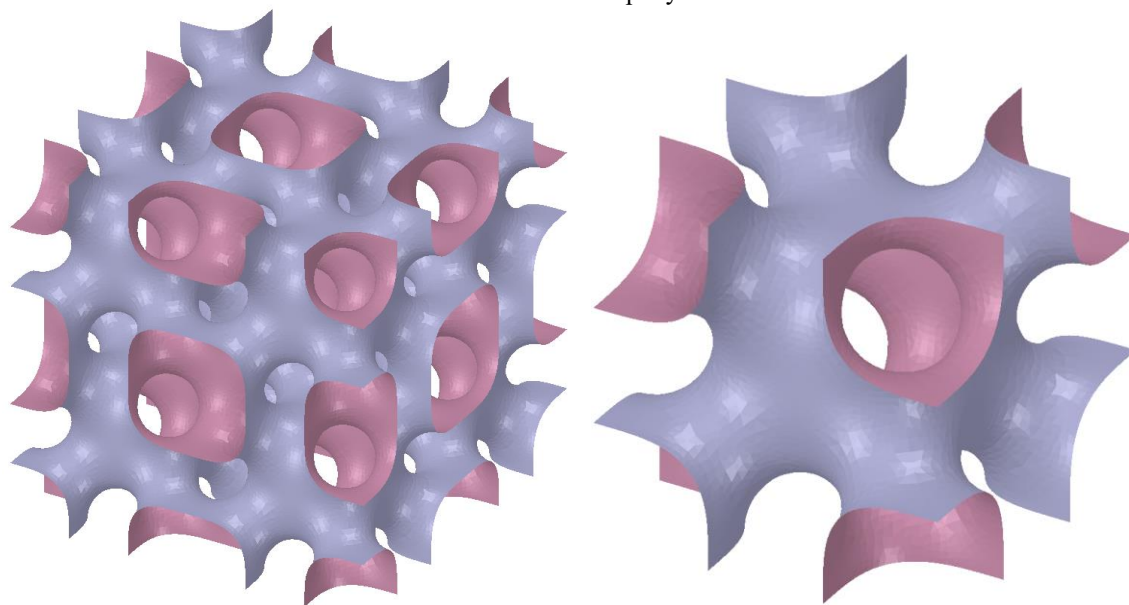


Рисунок 1. ТПМП Шёна типа I-WP.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Исследуемая ячейка поверхности I-WP обладает кубической симметрией. Из этого следует, что данная ячейка идеально вписывается в куб с ребром a . Представленная на рис. 1 геометрия является фасетированной поверхностью. Для дальнейшей работы ей необходимо придать толщину δ . Данная операция выполнялась при помощи функции «Thicken» в редакторе SpaceClaim. На рисунке 2 изображена элементарная ячейка преобразованная в твердотельный объект.

Полученная таким образом геометрия обладает двумя характерными геометрическими размерами: длина ребра куба a , толщина стенки ячейки δ . Регулируя данные размеры можно изменять свойства ТПМП среды, например, такие как: пористость, просветность, плотность, теплопроводность и т.д. В настоящем исследовании наибольший интерес представляет такое свойство среды как пористость ϕ :

$$\phi = \frac{V_{\kappa} - V_{\text{ТПМП}}}{V_{\kappa}} \quad (1)$$

где V_{κ} – объем куба, в который вписана элементарная ячейка; $V_{\text{ТПМП}}$ – объем ТПМП ячейки.

Построим график зависимости пористости ТПМП среды от толщины стенки ячейки (рис. 3). Из анализа графика видно, что пористость линейно зависит от толщины стенки ячейки при любой длине ребра.

При проектировании теплообменных устройств в первую очередь решаются две задачи: теплообмена и течения жидкости в каналах теплообменника. В рамках данной работы затрагивается исключительно вопрос гидродинамики жидкости в теплообменном устройстве, где применяются трижды периодические минимальные поверхности.

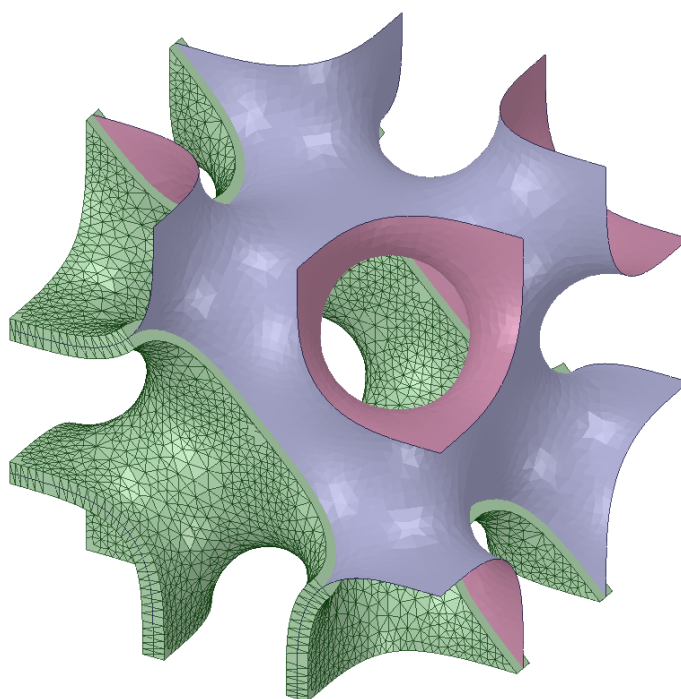


Рисунок 2. Элементарная ячейка поверхности I-WP

Задача течения жидкости в элементарной ячейке решается методом конечных элементов в модуле Fluent программного пакета ANSYS. Для всех задач, связанных только с течением жидкостей (без учёта связанных задач теплообмена, химических реакций и т.д.) в модуле Fluent производится решение уравнений сохранения массы и импульса. Уравнение

сохранения массы или уравнение неразрывности можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \bar{v}) = S_m, \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости; t – время; v – скорость.

Impact Factor:

| | | |
|--------------------------|------------------------|----------------------|
| ISRA (India) = 6.317 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) = 1.582 | РИИЦ (Russia) = 3.939 | PIF (India) = 1.940 |
| GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.771 | IBI (India) = 4.260 |
| JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 7.184 | OAJI (USA) = 0.350 |

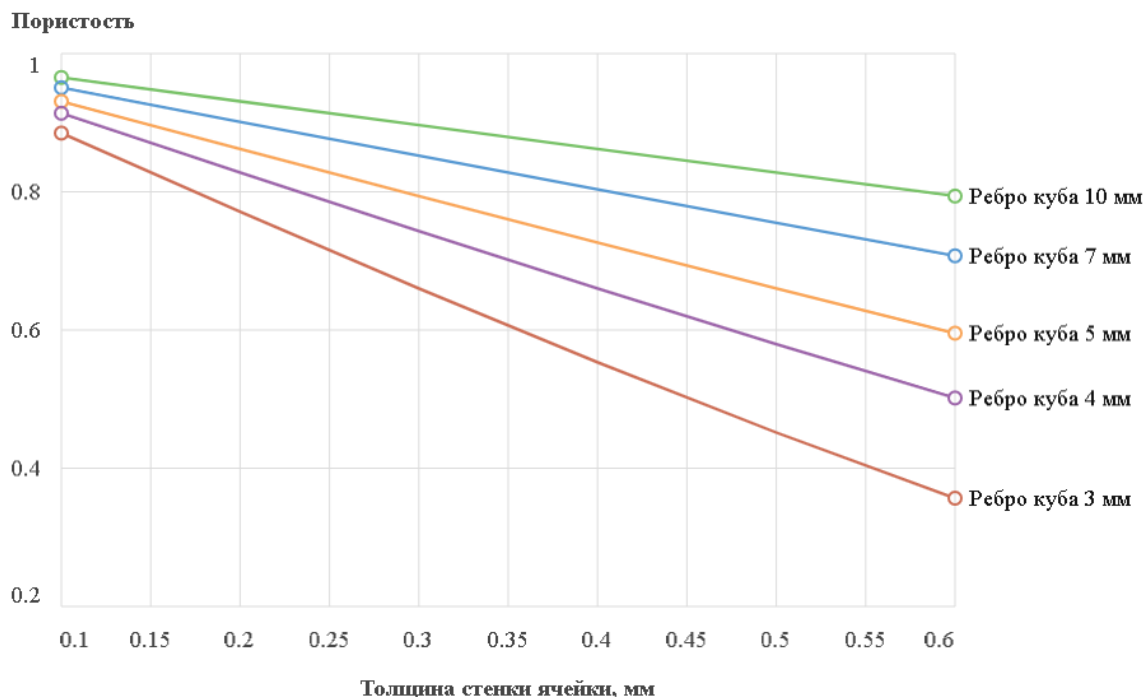


Рисунок 3. Пористость I-WP среды

Закон сохранения импульса в инерциальной системе имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla(\rho v v) = -\nabla p + \nabla(\tau) + \rho g + \bar{F}, \quad (3)$$

где p – статическое давление; τ – тензора напряжений; ρg – гравитационная объемная сила; \bar{F} – внешняя объемная сила.

Уравнения (2) и (3) решаются в ANSYS Fluent методом конечных элементов. Исходная

геометрия для решения и сетка конечных элементов изображена на рис. 4. Скорость на входе в канал $v_s = 0.1$ м/с. Элементарная ячейка вписана в куб с ребром 20 мм и имеет толщину стенки 1 мм. В качестве жидкости в исследовании используется воды, а материал, из которого изготовлена элементарная ячейка – алюминий. Свойства материалов представлены в таблице 1.

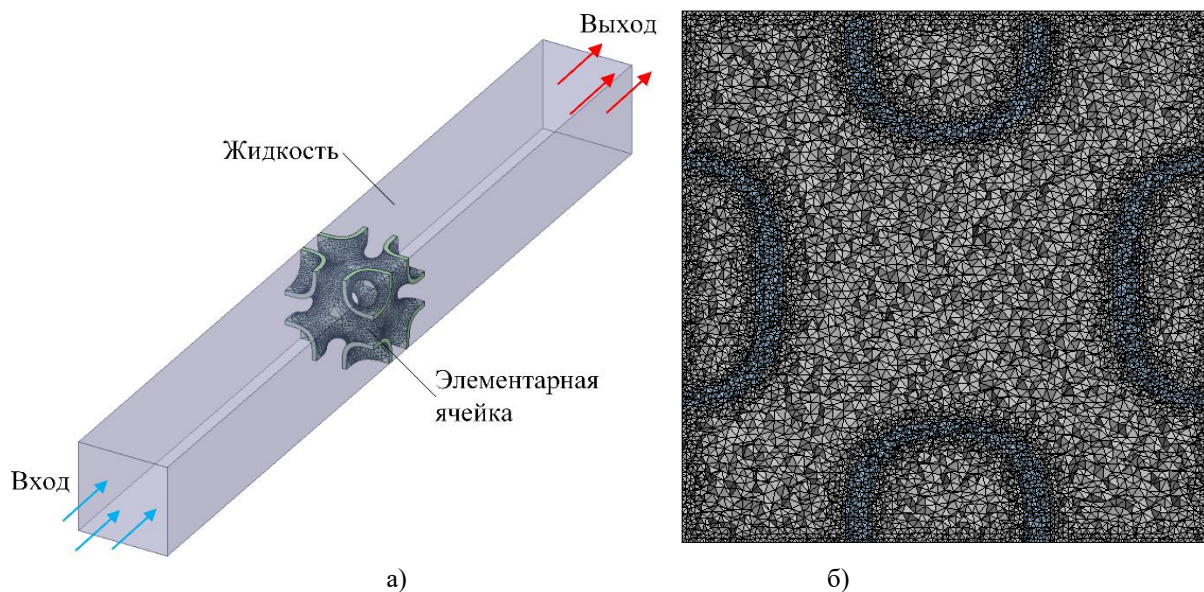


Рисунок 4. Исходная геометрия: а) расчетная модель; б) сетка в разрезе

| | | | |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|
| Impact Factor: | ISRA (India) = 6.317 | SIS (USA) = 0.912 | ICV (Poland) = 6.630 |
| | ISI (Dubai, UAE) = 1.582 | РИИЦ (Russia) = 3.939 | PIF (India) = 1.940 |
| | GIF (Australia) = 0.564 | ESJI (KZ) = 8.771 | IBI (India) = 4.260 |
| | JIF = 1.500 | SJIF (Morocco) = 7.184 | OAJI (USA) = 0.350 |

Таблица 1. Свойства материалов

| Материал | Плотность, кг/м ³ | Вязкость, кг/(м·с) |
|----------|------------------------------|--------------------|
| Алюминий | 2719 | – |
| Вода | 998.2 | 0.001003 |

Результаты

Из численного решения задачи гидродинамики в элементарной ячейке поверхности I-WP были получены контуры распределения давления и скорости (рис. 5).

Геометрия элементарной ячейки включает в себя как расширяющиеся так сужающиеся участки, в которых сильно изменяется скорость потока. Это хорошо видно на рис. 6, где отражены линии потока и участки с максимальной и

минимальной скоростью движения жидкости. Также на рисунке отмечены застойные зоны, где скорость близка к нулю (такие области выделены красными кругами на рис. 6).

Вдоль некоторых линий потока можно построить график изменения давления (рис. 7). На графике видно, как изменяется давление по длине канала при различных начальных скоростях потока.

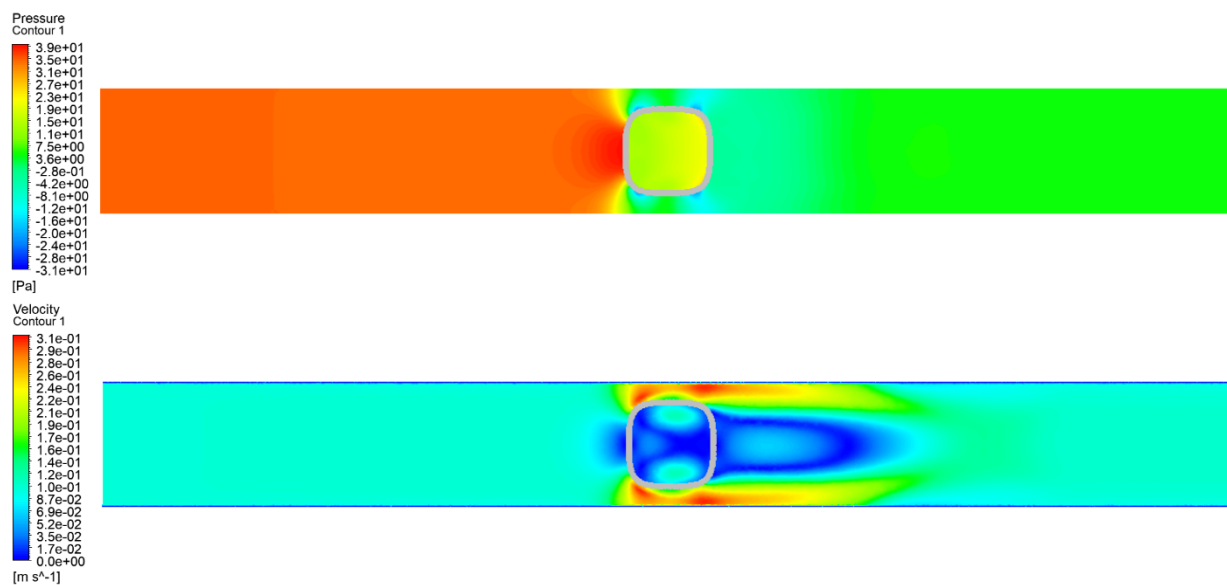


Рисунок 5. Контурсы распределения давления и скорости в середине канала при $v_0 = 0.1$

Impact Factor:

| | | | | | |
|------------------|---------|----------------|---------|--------------|---------|
| ISRA (India) | = 6.317 | SIS (USA) | = 0.912 | ICV (Poland) | = 6.630 |
| ISI (Dubai, UAE) | = 1.582 | РИИЦ (Russia) | = 3.939 | PIF (India) | = 1.940 |
| GIF (Australia) | = 0.564 | ESJI (KZ) | = 8.771 | IBI (India) | = 4.260 |
| JIF | = 1.500 | SJIF (Morocco) | = 7.184 | OAJI (USA) | = 0.350 |

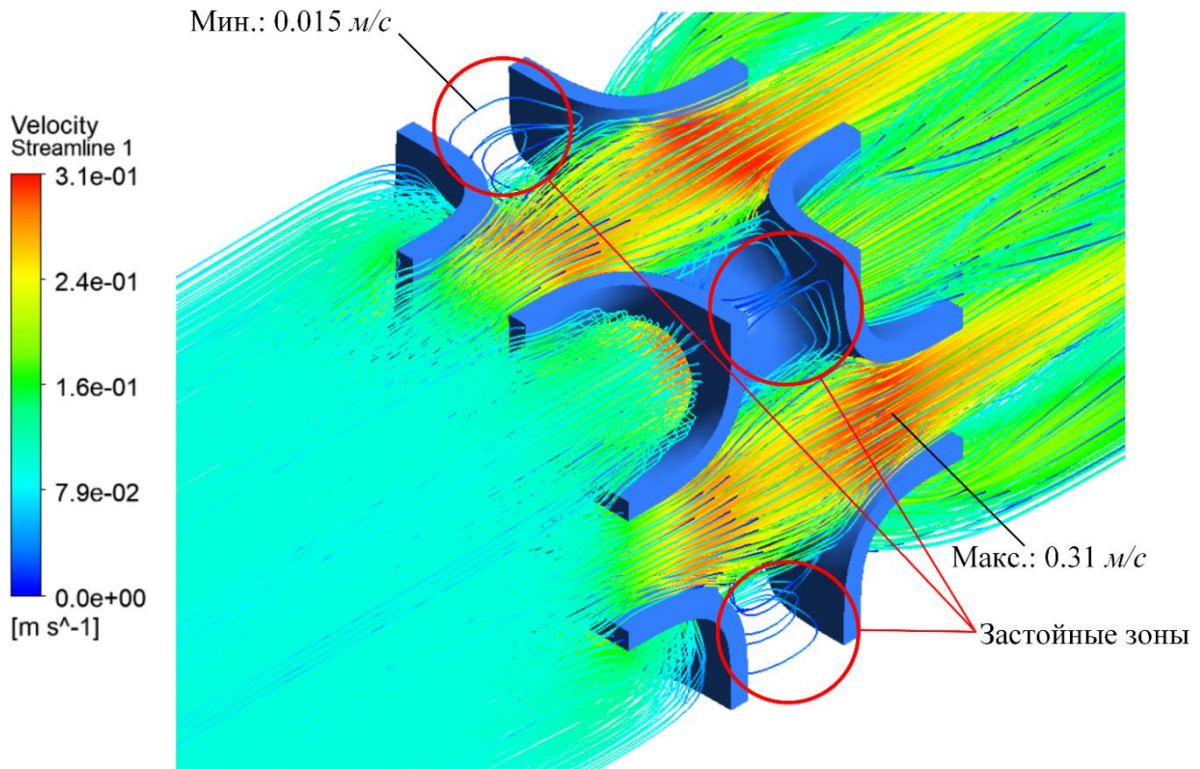


Рисунок 6. Линии потока в элементарной ячейке при $v_e = 0.1$

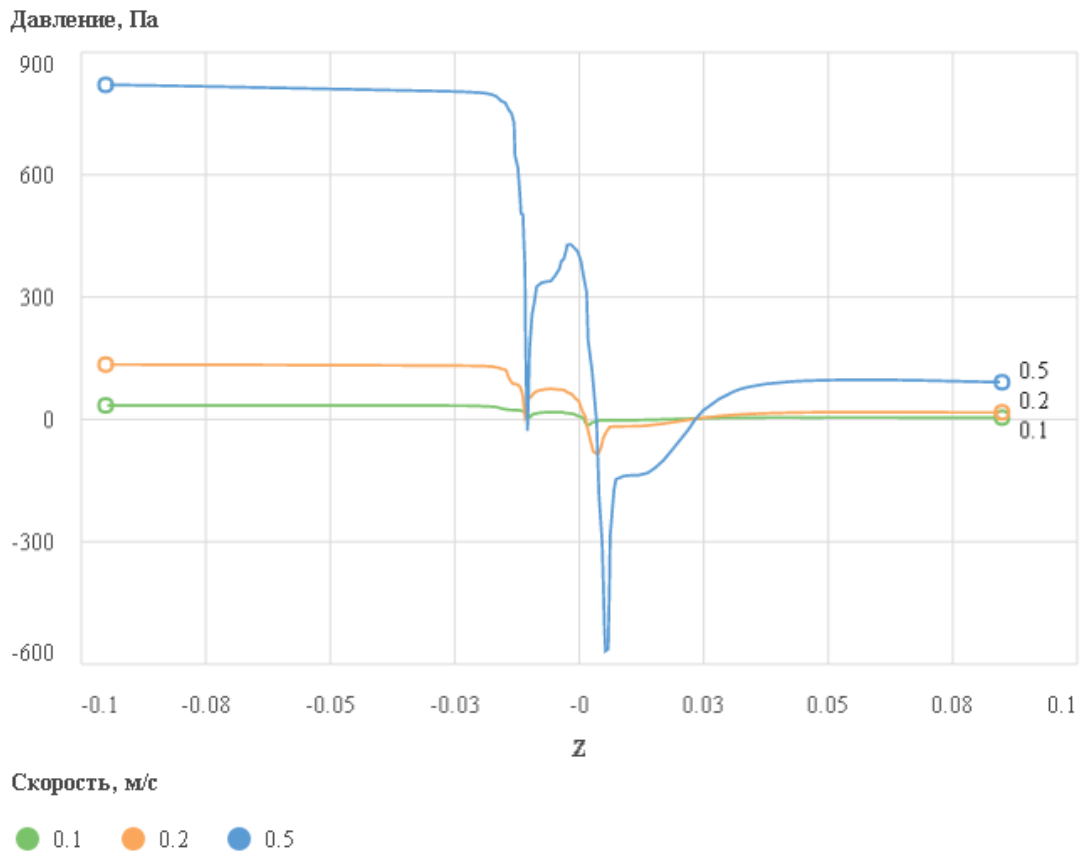


Рисунок 7. График изменения давления по длине канала

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда № 21-79-00047,
<https://rscf.ru/project/21-79-00047/>.

References:

1. Lee, S., et al. (2021). Enhanced mechanical strength of talc-containing porous kaolin prepared by a replica method. *Journal of the Korean Ceramic Society*, T. 58, №. 1, pp. 123-133.
2. Akulov, K. A. (2010). Igol'chatoe orebrenie teploobmennyh trub apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya gaza. *Novye tekhnologii-neftegazovomu regionu*, 2010, pp. 52-54.
3. Timohin, I. V. (2018). Povyshenie effektivnosti teploobmennyh apparatov na osnove modifikacii teploobmennyh poverhnostej (orebrenie) s ispol'zovaniem PAV. *Studencheskij forum*, №. 28, pp. 37-39.
4. Kuntyshev, V. B., & Kuznecov, N. M. (1992). *Teplovoj i aerodinamicheskij raschet orebrennyh teploobmennikov vozdušnogo ohlazhdeniya*.
5. Kaur, I., & Singh, P. (2021). Flow and thermal transport characteristics of Triply-Periodic Minimal Surface (TPMS)-based gyroid and Schwarz-P cellular materials. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, T. 79, №. 8, pp. 553-569.
6. Kim, J., & Yoo, D. J. (2020). 3D printed compact heat exchangers with mathematically defined core structures. *Journal of Computational Design and Engineering*, T. 7, №. 4, pp. 527-550.
7. Li, W., Li, W., & Yu, Z. (2022). Heat transfer enhancement of water-cooled triply periodic minimal surface heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, T. 217, p. 119198.
8. Eremin, A. V., Popov, A. I., & Gubareva, K. V. (2019). Teploobmen v ploskom kanale pri stabilizirovannom laminarnom techenii zhidkosti. *Perspektivy nauki*, №. 8, pp. 75-80.
9. Hatunceva, O. N. (2019). Analiticheskij metod opredeleniya profilya skorosti turbulentsnogo techeniya zhidkosti v ploskoj zadache Kuetta. *Trudy MAI*, №. 104, pp. 2.
10. Parovaj, E. F. (2022). Issledovanie teplovogo sostoyaniya segmentnogo podshipnika rotora gtd v zavisimosti ot geometrii vkladyshej i sposoba podachi masla. *Vestnik samarskogo universiteta*, T.21, №2, pp. 80-92.
11. Popov, A. I., et al. (2021). Lokal'no-neravnovesnaya model' teploprovodnosti v sterzhne. *Theoretical & Applied Science*, №. 8, pp. 301-304.