

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

SOI: [1.1/TAS](http://s-o-i.org/1.1/TAS) DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

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

Year: 2024 Issue: 11 Volume: 139

Published: 06.11.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Dmitriy Mihailovich Bragin
Samara State Technical University
assistant

Sofya Alekseevna Zinina
Samara State Technical University
assistant

Andrey Igorevich Popov
Samara State Technical University
research assistant

Ravil Mansurovich Mustafin
Samara State Technical University
research assistant

Nikita Nikolaevich Kechin
Samara State Technical University
graduate student

THE EFFECT OF THE ANGLE OF ATTACK ON THE HEAT EXCHANGE AND HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE FINS BASED ON THE TOPOLOGY OF A THRICE PERIODIC MINIMAL SURFACE OF THE PRIMITIVE TYPE

Abstract: In this paper, a numerical study of hydrodynamics and heat transfer in a finned channel is carried out based on the topology of a thrice periodic minimal surface of the Primitive type with a varying angle of attack of the incoming flow. The fin is an elementary cell inscribed in a cube with an edge of 10 mm and an edge thickness of 1 mm. A numerical model of heat transfer has been developed using the ANSYS software package of the Fluent module. The dependences of power and hydraulic resistance on the angle of attack are presented. The distribution of the velocity and thermal fields of the flow during passage through the fins with the rotation of the structural elements in the channel by 0 ° and 45 ° is determined. The results of this study show that the angle of attack has a significant effect on the hydraulic (up to 8%) and heat exchange (up to 9%) properties of the model.

Key words: angle of attack, TPMS, finning, pressure loss, energy efficiency.

Language: Russian

Citation: Bragin, D.M., Zinina, S.A., Popov, A.I., Mustafin, R.M., & Kechin, N.N. (2024). The effect of the angle of attack on the heat exchange and hydrodynamic characteristics of the fins based on the topology of a thrice periodic minimal surface of the primitive type. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11 (139), 27-31.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-11-139-7> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.11.139.7>

Scopus ASCC: 2200.

ВЛИЯНИЕ УГЛА АТАКИ НА ТЕПЛОБМЕННЫЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРЕБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИИ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТИПА PRIMITIVE

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Аннотация: В статье представлен численный эксперимент по определению гидродинамических характеристик В данной работе проводится численное исследование гидродинамики и теплообмена в канале с оребрением на основе топологии трижды периодической минимальной поверхности типа Primitive при изменяющемся угле атаки набегающего потока. Оребрение представляет собой элементарную ячейку, вписанную в куб с ребром 10 мм, и толщиной ребра 1 мм. Разработана численная модель переноса тепла с помощью программного пакета ANSYS модуля Fluent. Представлены зависимости мощности и гидравлического сопротивления от угла атаки. Определено Распределение скорости и тепловых полей потока при прохождении через оребрение с поворотом структурных элементов в канале на 0 ° и 45°. Результаты настоящего исследования показывают, что угол атаки оказывает значительное влияние на гидравлические (до 8%) и теплообменные (до 9%) свойства модели.

Ключевые слова: угол атаки, TPMS, оребрение, потери давления, энергоэффективность.

Введение

УДК 66.045.1

Исследования в области тепломассопереноса в TPMS структурах (от англ. triply periodic minimal surface) демонстрируют, что такие конструкции могут быть использованы в качестве новых теплопроводных каналов [2]. Особенность TPMS делить пространство на два не пересекаемых объема позволяет создавать рекуперативные теплообменники с большой площадью поверхности в единице объема. Также использование некоторых видов TPMS позволяет турбулизировать поток, вызывая завихрения, перемешивания, которые разрушают пограничный слой, что увеличивает теплоотдачу [3]. Не менее перспективным является использование TPMS конструкций в качестве оребрения, что позволяет также увеличивать площадь теплоотдачи, при этом турбулизируя поток [4]. Однако при внедрении TPMS в качестве оребрения неясным остается вопрос о выборе угла атаки потока.

Изменение угла атаки может приводить к изменениям режима течения жидкости, что важно для интенсификации теплообмена за счет перемешивания потока около стенки, и, соответственно, уменьшения толщины пограничного слоя [5]. Также угол атаки влияет на местные гидравлические сопротивления [6], которые могут увеличивать энергозатраты на перекачку теплоносителя. Более того, за счет изменения угла атаки могут быть уменьшены

застойные зоны потока, и задействована большая площадь оребрения.

В текущей работе будет рассмотрено влияние угла атаки потока на мощность и потери давления в теплообменном устройстве. Для исследования переноса тепла выбрана конструкции на основе топологии Primitive.

Определение оптимального угла атаки потока в теплообменниках можно выполнить с использованием численных методов, которые позволяют моделировать и прогнозировать поведение потоков в сложных геометриях. В рамках текущего исследования выбран численный метод конечных элементов, реализованный в модуле Fluent программного комплекса ANSYS.

На рис. 1 представлена расчетная модель оребрения. Размер ячейки для оребрения составляет 10 мм с толщиной ребра 1 мм. Перед и после оребрения расположен пустотелый канал для формирования развитого потока и рассеивания вихрей перед выходом жидкости.

Скорость потока на входе выбрана постоянной и составляет 0,01 м/с. Температура теплоносителя на входе составляет 300 К. Ячейка оребрения поворачивается на угол α для изменения угла атаки. Тепло подводится к ячейке при граничном условии 1 рода от тела, находящегося вне канала. Температура греющего тела принята 500 К. Свойства теплоносителя и материала из которого изготовлено оребрение представлены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства исследуемых материалов

Материал	Теплопроводность	Удельная теплоемкость	Плотность	Вязкость
Вода	0,6 Вт/(м·К)	4182 Дж/(кг·К)	998,2 кг/м ³	0,001003 кг/м·с
Алюминий	202,4 Вт/(м·К)	871 Дж/(кг·К)	2719 кг/м ³	—

Impact Factor:

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

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

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

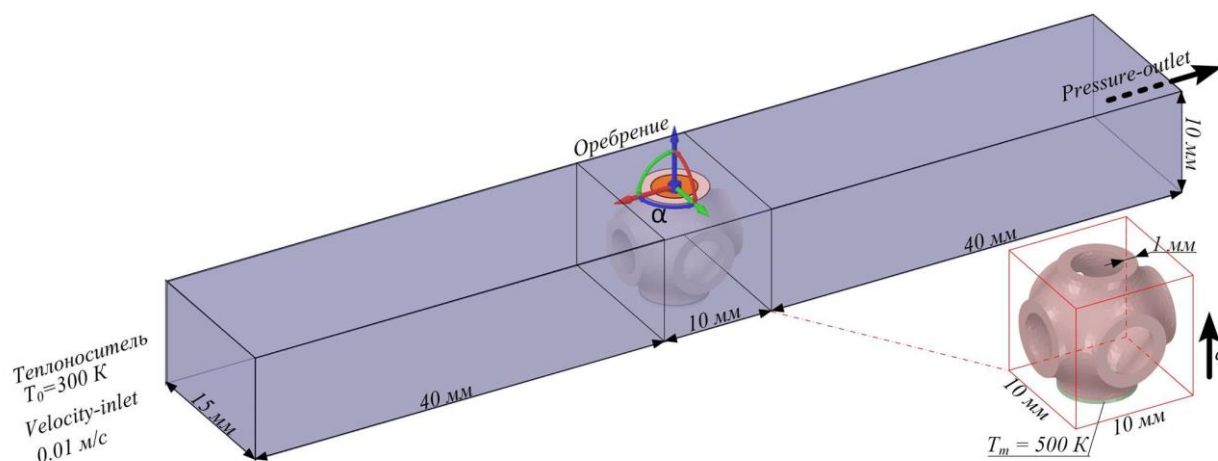


Рисунок 1. Расчетная модель оребрения Primitive с изменяемым углом атаки.

Поставленная задача решается с помощью системы дифференциальных уравнений [7]: сохранения массы (1), импульса (2) и энергии (3).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right] = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \cdot \vec{v}) + \vec{F}_b, \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k \nabla T + (\vec{\tau} \cdot \vec{v})) + S_g, \quad (3)$$

где ρ – плотность; t – время; $\vec{v}$ – скорость; μ – динамическая вязкость; $\vec{F}_b$ – объемная сила; E – полная энергия единицы массы; p – давление; $\vec{\tau}$ – тензор напряжений сдвига; S_g – источник энергии.

В результате численного эксперимента течения жидкости через оребрение был получен

график зависимости мощности и гидравлических сопротивлений от поворота структурных элементов в канале теплообменного устройства, представленный на рис. 2. График показывает периодические колебания мощности в зависимости от угла поворота оребрения, что указывает на чувствительность мощности к изменению угла. Мощность возрастает и падает синусоидально, что может свидетельствовать о влиянии угла поворота оребрения на турбулентность потока и, следовательно, на эффективность теплообмена и гидравлические потери. Так минимальная мощность наблюдается при угле атаки 45°, в то время как максимальная мощность соответствует углу атаки 0°. Изменения мощности от угла атаки достигают 9% в то время как гидравлические сопротивления изменяются в пределах 8%.

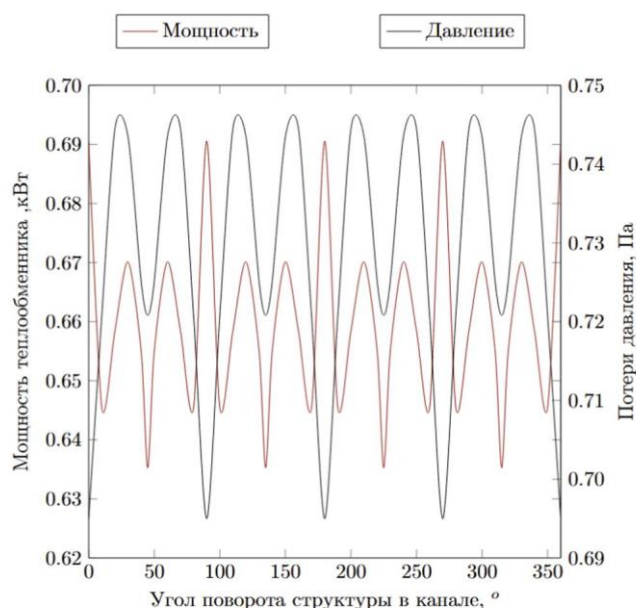


Рисунок 2. Зависимость мощности теплообменника и гидравлических потерь от угла атаки

Impact Factor:

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

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

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

Результаты распределения температур и скорости течения жидкости при углах атаки 0° и 45° представлены на рис. 3. При обоих углах атаки наблюдается симметричное течение и распределение температур вокруг элемента оребрения. Скорость потока снижается перед оребрением, и за ним образуются застойные области. Основное течение остается относительно прямолинейным, с меньшим количеством турбулентных завихрений. Количество

завихрений при угле атаки 0° меньше по сравнению с 45° , что создает меньшее гидравлическое сопротивление. Это может быть причиной минимальных потерь давления, которые наблюдались на рис 2. При увеличении угла атаки поток начинает отклоняться, образуя завихрения и турбулентные зоны после оребрения. Это приводит к возмущению потока, усиливая турбулентность и увеличивая гидравлическое сопротивление.

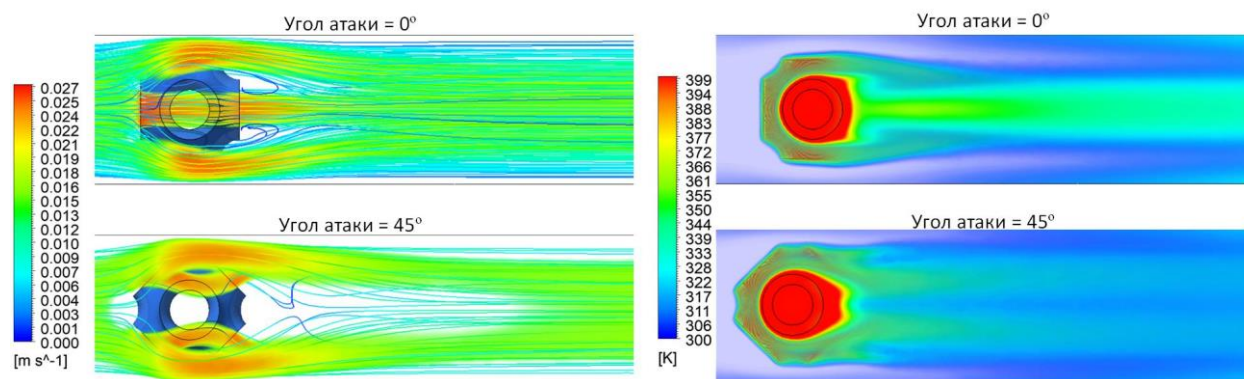


Рисунок 3. Распределение скорости и тепловых полей потока при прохождении через оребрение с поворотом структурных элементов в канале на 0° и 45°

Исходя из графика распределения температур, температурные максимумы наблюдаются на поверхности оребрения, а около поверхности образуется пограничный слой. При увеличении угла атаки шлейф тепла становится более размытым и разделяется на два потока, что указывает на увеличение турбулентности потока. Турбулентные завихрения увеличивают интенсивность теплообмена, однако при угле поворота 0° площадь взаимодействия больше. Это

объясняет более высокие значения мощности теплообмена.

Полученные результаты могут быть использованы для определения оптимального угла атаки при использовании оребрения на основе топологии трижды периодической минимальной поверхности типа Primitive при низких скоростях потока. Подбор оптимального угла позволит сбалансировать потери давления и увеличит мощность теплообменника.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>

References:

1. Ryzhenkov, A. V., & Danilina, N. V. (2012). K voprosu povysheniya jeffektivnosti teploobmennyyh apparatov. *Estestvennye i tehnicheckie nauki*, 2012, №. 4, pp. 324-333.
2. Attarzadeh, R., Rovira, M., & Duwig, C. (2021). Design analysis of the “Schwartz D” based heat exchanger: A numerical study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2021, T. 177, p. 121415.
3. Alteneiji, M., et al. (2022). Heat transfer effectiveness characteristics maps for additively manufactured TPMS compact heat exchangers. *Energy Storage and Saving*, 2022, T. 1, №. 3, pp. 153-161.
4. Bragin, D.M., Mustafin, R.M., Popov, A.I., Zinina, S.A., & Eremin, A.V. (2024). Investigation of aerodynamic processes in porous materials based on triply periodic

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

- minimal surfaces. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2024; 26 (5): 66-783.
5. Deeb, R. (2021). The Effect of Angle-of-Attack on Heat Transfer Characteristics of a Single Drop-Shaped Tube. *Physical-Chemical Kinetics in Gas Dynamics*, 2021, T. 22, №. 5.
 6. Dzhamil, D. R. (2020). Vliyanie ugla ataki na teploobmennye i gidrodinamicheskie harakteristiki shahmatnogo puchka trub kaplevidnoj formy v poperechnom obtekanii. *Doklady Akademii nauk vysshej shkoly Rossijskoj Federacii*, 2020, №. 3 (48), pp. 21-36.
 7. Popov, A. I., Eremin, A. V., & Kechin, N. N. (2023). Study of heat and mass transfer in a channel with fins based on a triply periodic minimal surface. *Urban construction and architecture*, 2023, T. 13, №. 4, pp. 49-56.