

**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: 2024 Issue: 05 Volume: 133

Published: 20.05.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article

**Andrey Igorevich Popov**

Samara State Technical University  
Senior Lecturer

**Sofya Alekseevna Zinina**

Samara State Technical University  
Assistant

**Dmitriy Mihailovich Bragin**

Samara State Technical University  
Assistant

**Anton Vladimirovich Eremin**

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

## STUDY OF THE PERMEABILITY OF A POROUS MATERIAL WITH A STRUCTURE BASED ON SCHWARTZ P TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES

**Abstract:** In this work, we carried out a study of the permeability of a porous material, which structure is based on the Schwartz P triple periodic minimum surface (TPMS). The filtration flow in the TPMS material is considered in accordance with the Brinkman model. To determine the permeability coefficient, a series of computational experiments were performed in ANSYS Fluent, during which the dependence of pressure loss on porosity was determined. An analytical expression was obtained to determine the permeability of a TPMS material from porosity. In accordance with the obtained dependence, the boundary value problem of filtration flow in a porous TPMP channel was formulated and solved.

**Key words:** minimal surface, ANSYS, CFD modeling, pressure drop, TPMS.

**Language:** Russian

**Citation:** Popov, A. I., Zinina, S. A., Bragin, D. M., & Eremin, A. V. (2024). Study of the permeability of a porous material with a structure based on Schwartz P triply periodic minimal surfaces. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (133), 71-74.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-133-16> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.05.133.16>  
**Scopus ASCC:** 2200.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА СО СТРУКТУРОЙ, ОСНОВАННОЙ НА ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МИНИМАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ШВАРЦА P

**Аннотация:** В настоящей работе выполнено исследование проницаемости пористого материала, структура которого основана на трижды периодической минимальной поверхности (ТПМП) Шварца P. Рассмотрено фильтрационное течение в ТПМП-материале в соответствии с моделью Бринкмана. Для определения коэффициента проницаемости был выполнен ряд вычислительных экспериментов в ANSYS Fluent, в ходе которых определялась зависимость потерь давления от пористости. Получено аналитическое выражение для определения проницаемости ТПМП-материала от пористости. В соответствии с

## 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

полученной зависимостью поставлена и решена краевая задачи фильтрационного течения в пористом ТПМП-канале.

**Ключевые слова:** минимальная поверхность, ANSYS, CFD-моделирование, потери давления, ТПМП.

### Введение

УДК 532.5

На сегодняшний день пористые материалы широко используются во множестве прикладных задач, включая разработку фильтров, катализаторов, теплообменных устройств, тепловой изоляции зданий и сооружений и т.д. [1-3]

Большинство классических пористых материалов обладают случайным характером распределения полостей (пенополистирол, пенобетон и др.), что затрудняет математическое описание процессов тепломассообмена в них. В связи с этим перспективным направлением является разработка и внедрение пористых материалов с упорядоченной макроструктурой. Подобные конструкции в настоящее время

используются, например, в автомобильных катализаторах и сотовых алюминиевых панелях.

В настоящей работе в качестве пористого материала с упорядоченной макроструктурой рассматривается материал, структура которого основана на трижды периодической минимальной поверхности (ТПМП) Шварца «Primitive» (P). Трижды периодические минимальные поверхности – это поверхности, которые не имеют самопересечений, периодичны во всех направлениях декартовой системы координат и обладают нулевой средней кривизной [4-7]. На рисунке 1 изображен элементарный фрагмент ТПМП Шварца P, а также пористый материал, который образуется в результате придания толщины и транслирования элементарного объема.

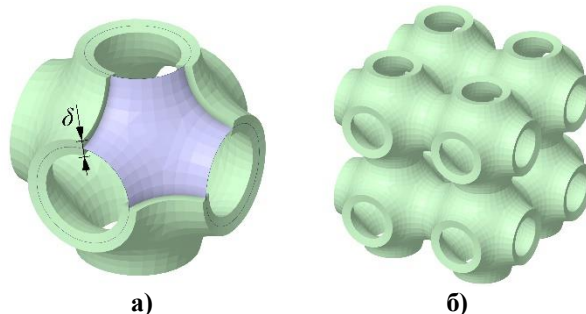


Рис. 1. Трижды периодическая минимальная поверхность Шварца P:  
а) элементарная ячейка; б) пористый материал

Важной задачей является исследование гидродинамических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой. Особый интерес представляют задачи течения жидкости при малых скоростях потока и в порах малого размера, иными словами задачи фильтрационного течения [8-13].

В работе рассматривается фильтрационное течение в пористом ТПМП-материале в соответствии с моделью Бринкмана.

### Теоретическая часть

В общем виде уравнение Бринкмана может быть записано как

$$\nabla P = -\mu \frac{u(y)}{k} + \tilde{\mu} \nabla^2 u(y), \quad (1)$$

где  $P$  – давление;  $k$  – коэффициент проницаемости;  $u$  – скорость;  $\mu$  – динамическая вязкость;  $\tilde{\mu} = \mu/\phi$  – эффективная вязкость.

Закон (1) определяет зависимость между скоростью потока и перепадом давления в пористом материале. Стоит отметить, что  $u(y)$  в данном выражении – это профиль скорости в пористой среде.

Основным коэффициентом, описывающим возможность пористого материала пропускать через себя флюид, является коэффициент проницаемости. Для определения проницаемости пористого материала, структура которого основана на ТПМП Шварца P, предложена методика, основанная на интерпретации результатов вычислительных экспериментов.

Для численного моделирования фильтрационного течения в пористом ТПМП-материале использовался модуль Fluent программного комплекса ANSYS. Геометрия для задачи, а также конечно элементная сетка представлены на рис. 2.

## 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

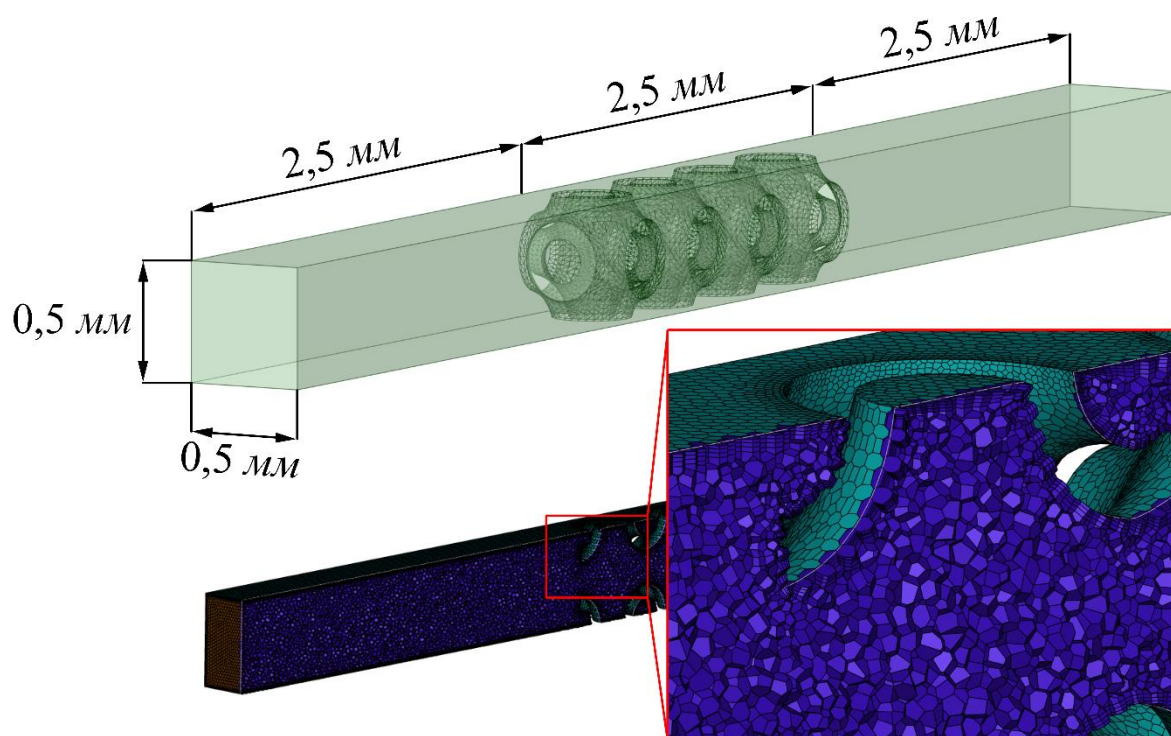


Рис. 2. Расчетная геометрия и конечно-элементная сетка

В ходе вычислительных экспериментов при постоянной начальной скорости потока  $u_{cp} = 0.005 \text{ м/с}$  измерялся перепад давления в канале в зависимости от пористости ТПМП-материала, которая варьировалась путем изменения толщины стенки  $\delta$ .

Для определения коэффициента проницаемости в соответствии с моделью Бринкмана подставим значения перепада давления и пористости в выражение, определяющее среднюю скорость потока

$$u_{cp} = \frac{1}{L} \int_0^L \left[ \frac{k \nabla P}{\mu} \left[ 1 - \frac{\cosh\left(\sqrt{\frac{\phi L^2}{k}} \frac{y}{L}\right)}{\cosh\left(\sqrt{\frac{\phi L^2}{k}}\right)} \right] \right] dy, \quad (2)$$

где  $L$  – половина ширины канала.

Таким образом получим зависимость коэффициента проницаемости ТПМП-материала от пористости, которая имеет вид

$$k(\phi) = 4,838 \cdot 10^{-11} \exp(2,957\phi) - 6,351 \cdot 10^{-11}. \quad (3)$$

Используя выражение (3) запишем краевую задачу фильтрационного течения в пористом

материале со структурой, основанной на ТПМП Шварца Р

$$\tilde{\mu} \frac{d^2 u(y)}{dy^2} - \frac{\mu}{k} u(y) + \nabla P = 0 \quad (0 < y < L); \quad (4)$$

$$u(L) = 0; \quad \left. \frac{du(y)}{dy} \right|_{y=0} = 0. \quad (5)$$

Точное решение задачи (4) – (5) имеет вид

$$u(y) = \frac{k \nabla P}{\mu} \left[ 1 - \frac{\cosh\left(\sqrt{\frac{\phi L^2}{k}} \frac{y}{L}\right)}{\cosh\left(\sqrt{\frac{\phi L^2}{k}}\right)} \right]. \quad (6)$$

### Результаты

Построим профиль скорости в соответствии с (6) при  $\phi = 0,92$  и  $\nabla P = 8400 \text{ Па}$  (см. рис. 3).

Из анализа графика видно, что скорость имеет значение близкое к  $0.0056 \text{ м/с}$  в середине канала и резко снижается в пристеночной области.

Предложенная методика и полученные зависимости проницаемости в пористом материале со структурой, основанной на ТПМП Шварца Р, могут быть использованы при проектировании фильтров и других устройств.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (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

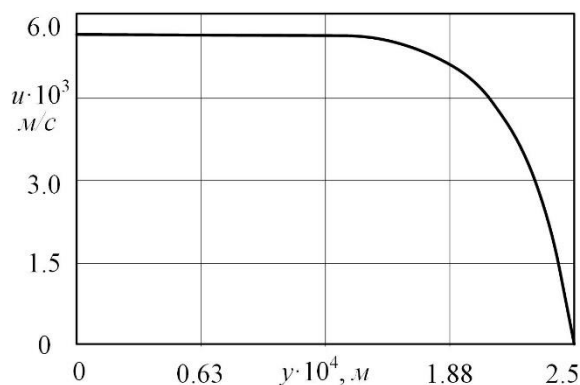


Рис. 3. Профиль скорости в пористом канале

### Благодарности

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

### References:

1. Sudarsanam, P., et al. (2019). Advances in porous and nanoscale catalysts for viable biomass conversion. *Chemical Society Reviews*, 2019, T. 48, №. 8, pp. 2366-2421.
2. Rashidi, S., et al. (2019). Potentials of porous materials for energy management in heat exchangers-A comprehensive review. *Applied energy*, 2019, T. 243, pp. 206-232.
3. Liu, H., & Zhao, X. (2022). Thermal conductivity analysis of high porosity structures with open and closed pores. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2022, T. 183, p. 122089.
4. Al-Ketan, O., et al. (2020). Functionally graded and multi-morphology sheet TPMS lattices: Design, manufacturing, and mechanical properties. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, T. 102, p. 103520.
5. Han, L., & Che, S. (2018). An overview of materials with triply periodic minimal surfaces and related geometry: from biological structures to self-assembled systems. *Advanced Materials*, 2018, T. 30, №. 17, p. 1705708.
6. Brakke, K. A. (1992). The surface evolver. *Experimental mathematics*, 1992, T. 1, №. 2, pp. 141-165.
7. Brakke, K. A. (1994). Surface evolver manual. *Mathematics Department, Susquehanna University, Selinsgrove, PA*, 1994, T. 17870, №. 2.24, p. 20.
8. Jung, Y., & Torquato, S. (2005). Fluid permeabilities of triply periodic minimal surfaces. *Physical Review E*, 2005, T. 72, №. 5, p. 056319.
9. Clarke, D. A., et al. (2021). Investigation of flow through triply periodic minimal surface-structured porous media using MRI and CFD. *Chemical Engineering Science*, 2021, T. 231, p. 116264.
10. Eremin, A. V., et al. (2021). *Numerical Study of Hydrodynamic Characteristics of Porous Material Based on Schwarz P Surface*. 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), IEEE, 2021, pp. 1030-1032.
11. Clarke, D. A., et al. (2021). Investigation of flow through triply periodic minimal surface-structured porous media using MRI and CFD. *Chemical Engineering Science*, 2021, T. 231, p. 116264.
12. Bragin, D. M., et al. (2022). Векторное распределение скорости в элементарной ячейке поверхности Шена I-WP. *Уральский научный вестник Учредители: Товарищество с ограниченной ответственностью Uralnauchkniga*, 2022, T. 3, №. 1, pp. 66-72.
13. Bragin, D.M., Popov, A.I., Zinina, S.A., & Leonov, S.S. (2021). Распределение векторного поля скорости внутри элементарной ячейки поверхности Шварца типа P. *Наукофера*, 2021, № 7-2, p. 253-256.