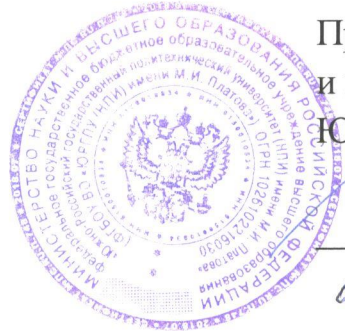


«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе
и инновационной деятельности
ЮРГПУ (НПИ), к.т.н., доцент


Пузин В.С.
08.09.2026

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Брагина Дмитрия Михайловича

на тему: «Разработка методов расчета и прогнозирования переносных свойств пористых материалов с упорядоченной макроструктурой»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. - Теоретическая и прикладная теплотехника

Актуальность темы исследования

В настоящее время пористые материалы с упорядоченной макроструктурой находят все более широкое применение в задачах интенсификации процессов тепло- и массообмена. Особый интерес представляют материалы на основе трижды периодических минимальных поверхностей (TPMS), сложная пространственная геометрия которых позволяет управлять их теплофизическими и гидродинамическими характеристиками.

Развитие аддитивных технологий создало возможности для изготовления таких структур с заданными геометрическими параметрами. Вместе с тем для их практического применения необходимо установление зависимостей переносных свойств от топологии и геометрических характеристик структуры, а также свойств материала каркаса. Важной задачей является разработка методов расчета, позволяющих прогнозировать характеристики таких материалов и использовать полученные зависимости при проектировании теплообменного оборудования.

В связи с этим направление диссертационного исследования Брагина Дмитрия Михайловича является актуальным и имеет научное и практическое значение.

Тематика диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации в области создания новых материалов и разработки перспективных энергетических технологий. Исследования, проведенные автором, направлены

на развитие методов расчета теплофизических и гидродинамических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой и совершенствование теплообменного оборудования на их основе.

Общая характеристика работы

Целью диссертационной работы является разработка методов расчета и прогнозирования переносных свойств пористых материалов с упорядоченной макроструктурой на основе комплексного анализа результатов численных и натурных экспериментов.

Содержание работы отражает последовательность проведенных исследований. Структура диссертационной работы соответствует поставленной цели и задачам исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 241 наименования и шести приложений. Общий объем диссертации составляет 210 страниц.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения о достоверности и апробации полученных результатов, публикациях автора и структуре диссертации.

Первая глава посвящена анализу современного состояния исследований пористых материалов с упорядоченной макроструктурой. Проанализированы результаты отечественных и зарубежных исследований теплофизических и гидродинамических характеристик TPMS-структур и их применения в теплообменных устройствах, определены основные направления дальнейшего исследования.

Во второй главе представлены результаты исследования теплофизических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой. Рассмотрен подход к определению эффективной теплопроводности с использованием репрезентативной элементарной ячейки и метода гомогенизации. Исследовано влияние типа и геометрических параметров TPMS-структур, а также теплопроводности материала каркаса на эффективную теплопроводность. На основе полученных результатов предложены обобщенные зависимости, предназначенные для прогнозирования теплофизических характеристик рассматриваемых структур.

В третьей главе проведено исследование гидродинамических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой на основе численного моделирования.

На основе полученных результатов предложена модификация уравнения Хагена–Пуазейля для расчета потерь давления в рассматриваемых структурах.

В четвертой главе рассмотрено применение TPMS-структур при создании теплообменных устройств. Представлены результаты численного

исследования процессов теплообмена и гидродинамики в разработанных конструкциях. Проведено экспериментальное исследование теплообменного аппарата на основе структуры Schoen's I-WP, изготовленного методом аддитивного производства из сплава AlSi10Mg. Выполнено сопоставление экспериментальных и расчетных данных, рассмотрено влияние режимных параметров на теплообменные и гидродинамические характеристики исследуемого аппарата.

Работа является завершенным научным исследованием. Оформление диссертации и автореферата полностью соответствует установленным требованиям. Материал изложен последовательно и логично, основные результаты представлены в виде расчетных зависимостей, таблиц и графического материала.

Оценка новизны и теоретической значимости полученных результатов

Научная новизна диссертационной работы заключается в развитии методов определения и прогнозирования теплофизических и гидродинамических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой. В рамках диссертационного исследования были получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан подход к определению теплофизических и гидродинамических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой, основанный на совместном использовании численного и физического экспериментов, метода гомогенизации, репрезентативной элементарной ячейки и нормализации получаемых характеристик.

2. Получены обобщенные зависимости эффективной теплопроводности TPMS-структур от геометрических параметров элементарной ячейки и теплофизических свойств материала каркаса, позволяющие прогнозировать эффективную теплопроводность и решать задачу выбора параметров структуры с заданными теплофизическими характеристиками.

3. Получены новые результаты численного и экспериментального исследования гидродинамических характеристик TPMS-структур, устанавливающие влияние их топологии и геометрических параметров на распределение скорости, давления и гидравлическое сопротивление.

4. Предложена модификация уравнения Хагена–Пуазейля для определения потерь давления в пористых материалах с упорядоченной макроструктурой, учитывающая параметры потока и геометрические характеристики структуры.

5. Разработаны и исследованы новые конструкции теплообменных устройств с использованием TPMS-структур.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов диссертационной работы подтверждается сопоставлением результатов численных расчетов с экспериментальными данными автора и результатами исследований других ученых. При проведении экспериментальных исследований выполнена оценка погрешностей измерений и неопределенности получаемых величин.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных зависимостей и методов при расчете и проектировании пористых материалов с заданными переносными свойствами, а также теплообменных устройств на основе TPMS-структур. Предложенная модификация уравнения Хагена–Пуазейля расширяет возможности расчетной оценки гидравлического сопротивления TPMS-структур.

Практическая применимость результатов подтверждается их использованием в расчетно-проектной деятельности ООО «Котел Маркет» и ООО «РОСКО», а также в учебном процессе Самарского государственного технического университета.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе

Полученные в диссертационной работе результаты рекомендуется использовать при расчетах и проектировании пористых материалов с упорядоченной макроструктурой с заданными теплофизическими и гидродинамическими характеристиками на предприятиях энергетической, химической, нефтегазовой и машиностроительной промышленности, занимающихся разработкой и эксплуатацией компактного теплообменного оборудования, систем охлаждения и утилизации теплоты. Отдельное практическое направление связано с предприятиями, использующими технологии аддитивного производства, поскольку предложенные подходы позволяют переходить от изготовления структур сложной формы к целенаправленному проектированию изделий с требуемыми переносными свойствами.

Апробация работы и публикации

По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ. Основные научные результаты диссертационного исследования опубликованы в 6 статьях в научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, относящихся к первому квартилю (Q1), 5 статьях в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК и 3 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

При подготовке и обобщении полученных результатов диссертационного исследования автору следовало бы обратить внимание на следующее:

1. В работе отсутствует статистическая обработка результатов физического эксперимента.
2. В формуле 3 автореферата отношение теплового потока к площади кольца ячейки неоправданно.
3. В формуле 4 автореферата не учтена теплопроводность среды в порах.
4. В формуле 6 автореферата размерность величины перепада давления ошибочна.
5. Для материалов, предлагаемых в качестве теплоизоляции, следовало бы сформулировать конкретные области их применения.

В целом данные вопросы и замечания носят дискуссионный и уточняющий характер и не влияют на общее положительное мнение о работе.

Заключение

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата наук Брагина Дмитрия Михайловича «Разработка методов расчета и прогнозирования переносных свойств пористых материалов с упорядоченной макроструктурой» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки методов расчета и прогнозирования теплофизических и гидродинамических характеристик пористых материалов с упорядоченной макроструктурой, установлении закономерностей влияния их геометрических параметров и свойств материала каркаса на переносные свойства, а также разработка технических решений по применению таких материалов в теплообменном оборудовании, что имеет существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны.

Поставленные в диссертационной работе задачи решены, цель работы достигнута. Выводы и рекомендации обоснованы применением апробированных расчетных методик, методов численного моделирования и результатами экспериментальных исследований. Новые научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение для расчета и прогнозирования переносных свойств пористых материалов с упорядоченной макроструктурой и разработки теплообменных устройств на их основе.

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4. 6. – Теоретическая и прикладная теплотехника:

п. 1 – Теплофизические свойства чистых веществ и их смесей, включая флюидонасыщенные горные породы, в широкой области параметров состояния; связи между строением веществ и их феноменологическими свойствами;

методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях;

п. 5 – Научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты;

п. 8 – Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров, использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем,

и отвечает критериям пп. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 20 сентября 2013 г. № 842 (в актуальной редакции), а ее автор – Брагин Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. – Теоретическая и прикладная теплотехника.

Диссертация обсуждена, отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (протокол № 2 от 04.09.2026 г.).

Заведующий кафедрой
«Тепловые электрические станции
и теплотехника», к.т.н., доцент

Янченко
Илья Владимирович

09.09.2026

Подпись Янченко И.В. заверяю,

Ученый секретарь Совета вуза ЮРГПУ (НПИ)



Н.Н. Холодкова

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)).

Сайт организации: <https://www.npi-tu.ru/>

Электронная почта: unid@npi-tu.ru

Почтовый адрес: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск,
ул. Просвещения, д. 132, телефон: +7(863) 525 53-94.