

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Попова Андрея Игоревича

«Разработка методов математического моделирования процессов  
тепломассопереноса в материалах с упорядоченной  
макроструктурой»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ (технические науки)

**Актуальность исследований.** Диссертационная работа А.И. Попова посвящена разработке численно-аналитических методов интегрирования уравнений переноса тепла в пористых средах с упорядоченной макроструктурой. Автором положены в основу диссертационного исследования математического моделирования процессов теплопереноса структур, описываемых трижды периодическими минимальными поверхностями. Исследование процессов переноса при разных характерных диффузионных временах является актуальной проблемой после вывода уравнения теплопроводности. Сложность точного интегрирования уравнений для описания теплопереноса обусловлена нелинейностью в уравнениях движения жидкости и сложным профилем (границей или пористостью) твердых тел.

Отметим, что преимущества использования материалов и структур, описываемых трижды периодическими минимальными поверхностями, было понято очень быстро, в сравнении с традиционными, не они долгое время получали ограниченное применения по причине сложности их изготовления и прогнозирования физических свойств. В настоящее время в связи с развитием аддитивных технологий, вычислительной техники принципиально стало возможным теоретическое исследование материалов с указанной геометрической структурой, но и их прикладное применение. Основная трудности для применение пористых ТПМП-материалов в технике, является зарождение и формирование математического аппарата для описания физических процессов теплопереноса.

Для инженерных расчетов подчас не нужны точные решения уравнений математической физики, поскольку инженерная точность

*С отзывом ознакомлен 13.06.2024*

*Попов А.И.* 

ФГБОУ ВО "СамГТУ"
"13" 06. 2024
Вход. № 8/4

вычислений проще и быстрее обеспечить использованием численных методов уравнений математической физики.

Основываясь на изложенном выше, можно констатировать, что разработка новых методов интегрирования уравнений, описывающих явления переноса в пористых средах, описываемых трижды периодическими минимальными поверхностями, является актуальной задачей, начатой решаться диссертационной работе А.И. Поповым.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы, приложений. Объем текста составляет 134 страницы и приложения приведены на 22 страницах. В тексте содержится 60 рисунков. Библиографический список состоит из 108 источников.

Во **введении** автором диссертационной работы, А.И. Поповым, обосновывается актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследований, указана научная новизна и практическая значимость научных результатов, выносимых на защиту, приведены сведения об апробации работы, публикациях, структуре и объеме диссертации.

В **первой главе** диссертации представлен обзор литературы по теме исследований. Автором проанализированы теоретические работы, в которых проведены исследования по использованию различных моделей теплопроводности и нахождению аналитических и приближенных решений краевых задач распространения тепла в разных средах. Показано, что широкое применение в инженерной деятельности получили точные, приближенно-аналитические и численные методы решения краевых задач для описания тепломассопереноса в материалах с упорядоченной макроструктурой (пористых средах).

Во **второй главе** разработан метод математического моделирования теплопроводности в пористых средах с упорядоченной макроструктурой, основанной на трижды периодических минимальных поверхностях, для получения аналитических зависимостей, устанавливающих связь между теплофизическими свойствами исследуемых материалов и их геометрическими характеристиками. Модельное представление было реализовано так, чтобы полученные выражения были простыми по виду и могли легко быть использованы в рутинной инженерной практике.

В **третьей главе** представлен метод определения зависимости проницаемости от структурных характеристик пористых ТПМП-материалов. В диссертации предложен подход к определению

коэффициентов проницаемости пористых материалов при фильтрационном течении на основе результатов вычислительных экспериментов в ANSYS Fluent (лицензия на использование программного продукта у автора диссертации представлена в работе).

В **четвертой главе** диссертации представлены результаты разработки модели теплопроводности, учитывающей пространственно-временную нелокальность процесса переноса.

В **пятой главе** диссертации представлены новые алгоритмы и комплексы программ, реализующие описанные в диссертации методы математического моделирования процессов тепломассопереноса.

В **заключении** рукописи приведены выводы по результатам диссертационного исследования.

В **приложениях** диссертационного исследования приведены акты внедрения и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

**Научная новизна.** В представленной к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в качестве основных научных результатов можно выделить:

1. Впервые разработан метод математического моделирования процессов тепломассопереноса в пористых средах с топологией трижды периодических минимальных поверхностей при использовании вычислительной гомогенизации исследуемой области и при определении эффективных коэффициентов переноса на основе интерпретации вычислительных и натуральных данных.
2. Разработана математическая модель теплопроводности в пористых средах с упорядоченной структурой, основанной на трижды периодических минимальных поверхностях.
3. Впервые предложен подход при совместном использовании метода разделения переменных и ортогональных методов взвешенных невязок для решения задачи Штурма-Лиувилля при теплопроводности в пористой бесконечно протяженной пластине в точном удовлетворении исходного дифференциального уравнения в отдельных точках пространственной переменной.
4. Впервые решена задача теплопроводности в бесконечно протяженной пористой пластине с равномерно распределенными внутренними источниками теплоты приближенным аналитическим методом, основанного на совместном применении метода введения

дополнительной искомой функции и интегрального метода теплового баланса.

**Научная, теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке вычислительных методов определения полей скорости, температуры и давления в пористых материалах с упорядоченной макроструктурой. Разработанные в диссертации модели тепломассопереноса, а также полученные приближенные и численно-аналитические решения могут быть использованы при проектировании теплообменного оборудования, расчете тепловых потерь через ограждающие конструкции сооружений и в ряде других прикладных исследований. Результаты диссертационного исследования используются в образовательной деятельности для подготовки студентов, будущих теплотехников, и в рутинной инженерной деятельности промышленных предприятий города Самары.

**Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертационной работе,** обеспечивается применением законов механики и термодинамики, сравнением найденных результатов с реальными теплофизическими процессами, которые протекают в пористых средах, и сравнением результатов с известными точными, численными решениями и экспериментальными исследованиями.

Результаты, представленные в тексте диссертации А.И. Поповым, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 21 печатных работах, 5 из которых в научных статьях, входящих в Перечень ВАК, 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Соответствие автореферата содержанию диссертации.** Автореферат полностью и достоверно отражает структуру, основные результаты и выводы диссертации.

**Замечания по диссертации и автореферату.** При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом диссертации сложилось впечатление поспешности оформления текста. В работе имеется чрезвычайно много неточностей, опечаток, орфографических и пунктуационных ошибок, оказывающих негативное влияние на рецензента по общему представлению о проделанной работе.

Отмечу еще некоторые дискуссионные и технические моменты, возникшие при ознакомлении с диссертацией и авторефератом:

1. Есть неточность при формулировании цели работы. При написании диссертации автором заведомо разрабатываются алгоритмы, которые ранее не были известны научному сообществу, поэтому фраза «Разработка новых алгоритмов ...» страдает речевой избыточностью и ненужным словесным и ошибочным усилением.
2. Слишком общая формулировка пункта 1 задач диссертационного исследования: «Разработать метод математического моделирования тепловых и гидродинамических процессов в пористых средах с упорядоченной макроструктурой на основе интерпретации данных натуральных и вычислительных экспериментов». Что под этим понимает автор? По тексту диссертации о разработке метода моделирования не идет речи. Из-за этого недоразумения или непонимания рецензентом мыслей диссертанта необходимо обосновать дополнительно соответствие пункта 1 паспорта специальности.
3. Хотелось бы пояснения по пункту 6 раздела «Задачи исследования», по пункту 6 раздела «Научная новизна», по пункту 6 «Положения, выносимые на защиту». Автор утверждает, что разработан алгоритм (у него он опять новый!) использования метода конечных элементов. При внимательном ознакомлении с материалом диссертации у рецензента сложилось устойчивое впечатление об использовании стандартной библиотеке Steady-State Thermal программного комплекса ANSYS для проведения инженерных расчетов. Я не увидел ничего нового в сравнении со стандартными подходами использования ANSYS. Следовательно, я не считаю это новым результатом, поэтому защищать здесь нечего.
4. На страницах 114-118 приведено описание алгоритма, но его оформление более похоже на сдачу лабораторной работы студентом-второкурсником. Алгоритм оформляется в виде блок-схемы, таблиц, структур. Здесь идет перечисление рутинных манипуляций в среде MathCAD 15.0. со вставленными копиями экрана монитора. После вставок формул и рисунков автор не потрудился сделать краткий вывод о проделанной работе.
5. Как исследовалась сходимость полученного численного решения?
6. Как обосновывается «отбрасывание» членов ряда при построении численно-аналитического решения?

7. При ознакомлении с текстом диссертации и с библиографическим списком к ней удивляет малое количество отечественной цитируемой литературы и сбивчивое оформление источников (по разным стандартам).

**Заключение.** Диссертационная работа Попова Андрея Игоревича «Разработка методов математического моделирования процессов тепломассопереноса в материалах с упорядоченной макроструктурой», соответствует требованиям пунктам 9-14 Постановления Правительства РФ 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней» с дальнейшими изменениями и дополнениями. Автор диссертации достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Профессор кафедры  
информационных технологий и систем управления  
Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РтФ  
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Доктор физико-математических наук, доцент



Е.Ю. Просвиряков

04.06.2014

Почтовый адрес: 620002, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира,  
д. 19, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.  
Ельцина»  
Номер телефона: +7(343) 375-48-78, +79826545223  
E-mail: [evgen\\_pros@mail.ru](mailto:evgen_pros@mail.ru)

Подпись Евгения Юрьевича Просвирякова заверяю:  
ученый секретарь  
ФГАОУ ВО  
«УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

В.А. Морозова

