

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Попова Михаила Ивановича «Аналитические и численные методы математического моделирования при исследовании внутренних задач свободной конвекции в кондуктивно-ламинарном режиме», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

### Актуальность темы

Свободная конвекция является одним из основных механизмов переноса тепла и массы в технических системах предметного назначения. Наибольший интерес в этой связи представляет моделирование кондуктивно-ламинарного режима свободной конвекции во внутренних задачах, так как именно в замкнутых объемах реализуется большинство важных процессов в химической и пищевой промышленности, в энергетике, в ракетно-космической и криогенной технике.

Наиболее универсальной математической моделью свободноконвективного движения жидких сред является модель Обербека-Буссинеска в виде сопряженной существенно нелинейной системы уравнений в частных производных смешанного эллиптического-параболического типа. Однако до сих пор возникают трудности при ее анализе по причине отсутствия доказательства единственности решения в общем виде с различными граничными условиями. Поэтому получены лишь единичные приближенные решения и то только внешних задач, например, решение Польгаузена, лежащее в основе практически всех теоретических оценок при анализе теплообмена вблизи вертикальных поверхностей.

Основным и практически единственным инструментом выяснения закономерностей при свободноконвективном течении остается

вычислительный эксперимент, позволяющий получать детальную информацию о нестационарных гидротермических полях. В настоящее время не хватает эффективных численных методов, обладающих быстрой сходимостью, устойчивостью и точностью при небольшой степени дискретизации области решения с рациональными затратами машинного времени на счет. Исходя из этого, разработка аналитических и численных методов исследования является актуальной теоретической и значимой практической задачей.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, обеспечивается корректным использованием классических положений гидромеханики, теории тепломассопереноса, теории дифференциальных уравнений математической физики и численных методов. Достоверность полученных результатов подтверждается вычислительными экспериментами и сравнением с данными других авторов, апробацией основных результатов на конференциях и семинарах, в опубликованных работах.

### **Научная новизна**

В диссертационной работе получен ряд результатов, характеризующихся научной новизной:

1. В явном виде получено приближенное аналитическое решение задачи стационарной и нестационарной кондуктивно-ламинарной свободной конвекции в прямоугольной области.
2. Разработаны явная итерационная и полунявная двухслойная конечно-разностные схемы численного интегрирования соответственно стационарных и нестационарных постановок задач кондуктивно-ламинарной

свободной конвекции. Доказаны устойчивость схем и сходимость их к точному решению задачи.

3. Найдено выражение для расчета оптимального значения временного шага, обеспечивающего максимальную скорость сходимости вычислительной процедуры.

4. Разработан предметно-ориентированный программный комплекс, комбинирующий приближенно аналитический и численный методы, что позволяет получить более общие и точные характеристики решения.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая ценность состоит в развитии классического метода интегрального синус-преобразования Фурье, применительно к уравнениям в частных производных четвертого порядка, а также в формировании подхода к исследованию внутренних задач кондуктивно-ламинарной свободной конвекции методами конечных разностей.

Практическая значимость работы заключается в разработке предметно-ориентированного программного комплекса, который позволяет получать как численные, так и приближенные аналитические решения.

### **Общая характеристика**

Диссертация состоит из введения и четырех глав. Работа написана литературным языком, грамотно, стиль изложения доказательный. Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, таблицы, примеры, подробные расчеты. По каждой главе и работе в целом имеются обоснованные выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат правильно и полно отражает содержание работы. Библиография из 95 источников показывает владение автором информацией по теме исследования.

### **Замечания к диссертации**

Диссертационная работа в целом производит весьма положительное впечатление, все же имеются и некоторые недостатки:

1. В 4 главе, посвященной анализу решений, рассматривается лишь функция тока, при этом не уделено внимание анализу поля скоростей и температур.

2. При описании рис. 4.8 на стр. 98 говорится об инверсии течения при больших числах Прандтля. Однако этот факт никак не прокомментирован.

3. Не рассмотрен предельный случай, при стремлении к бесконечности длины нагретой стенки.

### **Соответствие диссертации паспорту специальностей Минобрнауки РФ.**

Работа соответствует пункту 2 “Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей”, пункту 3 “Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий”, пункту 4 “Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента” паспорта специальности 05.13.18 – “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

### **Заключение**

Отмеченные недостатки в целом не снижают качества работы. Диссертация написана на актуальную тему и представляет собой законченное самостоятельное научное исследование, имеющее теоретическую и практическую ценность.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 5 международных научных конференциях и опубликованы в 9 печатных работах, из них 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

На основании вышеизложенного, считаю, что диссертационная работа Попова Михаила Ивановича удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

профессор, ФГБОУ ВПО

«Воронежский государственный университет»,

кафедра математического моделирования,

заведующий

Костин Владимир Алексеевич

Тел.: +7(473) 2-208-364

e-mail: vlkostin@mail.ru

Адрес: 394006, г. Воронеж, Университетская пл., Д.1



В. А. Костин



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВПО «ВГУ»)	
Подпись	<i>Костин В.А.</i>
завещаю	<i>Вед. документам</i>
С. Сивская	20.04.2015
Подпись, расшифровка по лиси	