

**Отзыв**  
официального оппонента на диссертацию  
Абделхафиза Мостафы Абдаллаха Ахмеда  
**«Моделирование конвективных движений теплопроводной жидкости**  
в пористой анизотропной среде»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 05.13.18 — математическое  
моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Абделхафиза М.А.А. посвящена развитию методов исследования задач конвективного переноса в анизотропных пористых средах, когда модели конвекции обладают свойством косимметрии. Именно к этому специальному классу моделей относятся конкретные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Выбор объекта исследования объясняется широчайшим распространением пористых сред, как природных, так и рукотворных. Акцент на специфический класс моделей вполне традиционен для той научной школы, к которой принадлежат соискатель и его научный руководитель. Актуальность этой тематики объясняется применением пористых материалов в различных отраслях техники и медицине. Математическое моделирование конвективных движений теплопроводной жидкости в условиях неоднородности среды является сложной задачей, требующей учёта множества разнообразных факторов: динамику заполняющего поры газа или жидкости, действие температуры, наличие примесей, неоднородности пористой среды. Модели описываются системами нелинейных уравнений в частных производных. Для их решения применяются как аналитические подходы, так и современные численные методы, и соответствующее программное обеспечение.

В диссертационной работе Абделхафиза М.А.А. проведен анализ математических моделей, описывающих гравитационную конвекцию в пористой среде с учетом анизотропии. На основе модели Дарси и приближения Буссинеска рассматриваются плоские конвективные течения теплопроводной жидкости и бинарной смеси в прямоугольном контейнере при подогреве снизу. Выписаны системы уравнений в естественных переменных и сформулированы начально-краевые задачи в переменных функция тока, температура и концентрация.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Во **Введении** дан обзор литературы по теме диссертации, обоснована актуальность темы, изложены цели работы и методы исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость результатов, представлена структура работы и приведен краткий обзор содержания работы.

В **первой главе** рассматриваются математические модели фильтра-

ционной конвекции на основе закона Дарси и приближения Буссинеска. Данная постановка начально-краевых задач для естественных переменных и уравнений относительно функции тока и девиации температуры. В случае бинарной анизотропной жидкости в пористой среде учитывается эффект Соре, но пренебрегается влиянием примеси на распространение тепла (эффект Дюфора). Установлена косимметричность рассматриваемых задач при определенных условиях на параметры задачи. В этом случае удалось получить явные формулы для критических чисел Рэлея, отвечающих монотонной неустойчивости механического равновесия. Для задачи о возникновении конвекции в анизотропной пористой среде, насыщенной теплопроводной жидкостью с примесью, получено соотношение, связывающее температурное и концентрационное числа Рэлея и соответствующее порогу неустойчивости состояния покоя.

Вторая глава посвящена развитию численных методов решения сформулированных задач. На основе метода прямых и дискретизации по пространственным переменным построены операторы, сохраняющие косимметрию исходных систем. Для анализа устойчивости механического равновесия выписаны разностные аналоги спектральных проблем и получены алгебраические системы для вычисления критических чисел Рэлея. Описан программный комплекс Aniso2d в MATLAB, разработанный автором для численного анализа двумерных анизотропных проблем тепловой конвекции в пористой среде.

В третьей главе представлены результаты анализа возникновения конвекции в пористом прямоугольнике с учетом анизотропии тепловых характеристик и проницаемости. Приведены рассчитанные критические числа Рэлея и нейтральные кривые. При выполнении условий косимметрии на параметры систем проведено вычисление семейств стационарных режимов и проанализировано разрушение семейства стационарных режимов при нарушении условий косимметрии. Рассмотрено возникновение конвекции для плоской задачи о пористом прямоугольнике, насыщенном бинарной жидкостью. Численно проведен анализ монотонной и колебательной неустойчивости механического равновесия.

Благоприятное впечатление производит список используемой литературы, демонстрирующий, что соискатель хорошо ориентируется в исследованиях по теме публикации.

### **Замечания по тексту диссертации и автореферата**

1. На мой взгляд, формулировка цели работы не вполне удачная. Главным достижением проведенного исследования является выявление условий, при которых модели конвекции в анизотропных средах обладают свойством косимметрии. Конкретные задачи, решенные в ходе исследования, относятся именно к этому специальному классу моделей. Собственно, первый пункт научной новизны соответствует именно такому

пониманию цели работы.

2. В подразделе «Актуальность» хотелось бы видеть конкретные примеры, подтверждающие актуальность исследования. В представленном виде подраздел описывает актуальность исследования лишь в общих чертах. В самом тексте диссертации мне не удалось обнаружить примеры конкретных систем и режимов, которые подтвердили бы актуальность проводимого исследования. Если такие примеры есть, их обязательно следует привести во время защиты.

3. В п. 2 научной новизны идет речь о построении миметических численных схем. В тексте диссертации этот термин больше не встречается ни разу. Миметические численные схемы не относятся к разряду общеизвестных. Описание основных идей с соответствующими ссылками представляется весьма желательным. Использование в научной новизне уникального для данной диссертации термина представляется неоправданным.

4. В соответствии с п. 10 раздела II «Положения о присуждении ученых степеней» в диссертации, имеющей теоретический характер, должны содержаться рекомендации по использованию научных выводов. Поскольку в тексте диссертации в явном виде раздел «Рекомендации» отсутствует, рекомендации должны быть четко сформулированы в ходе защиты.

5. Имеются претензии к оформлению рукописи. Обозначение векторов стрелками уместно в рукописном тексте и школьных учебниках, в научных текстах принято использовать полужирный шрифт; использование курсива для операторов дезориентирует и затрудняет восприятие формул. Имеется некоторая небрежность в написании формул, например, в формуле (4) автореферата и соответствующей формуле на с. 27 диссертации, вектор нормали обозначен неправильно (как скаляр). В работе имеются опечатки. Например, в автореферате объекты исследования — «математические модели».

6. Имеются замечания технического характера к качеству преобразования диссертации и особенно автореферата в формат pdf.

Замечания не умаляют важности полученных в диссертации научных результатов. Недостатки работы частично объясняются тем, что русский язык не является для соискателя родным, поэтому некоторая скованность и сжатость изложения, к сожалению, неизбежна.

Разработанные в диссертации методы и подходы могут быть использованы в научных организациях, занимающихся исследованием нелинейных систем дифференциальных уравнений, анализом бифуркаций и построением явных решений.

Материалы диссертационного исследования прошли достаточную апробацию на научных форумах, опубликованы в переводных научных журналах и материалах конференции.

Представленные материалы позволяют считать диссертацию Абделхафиза М. А. А. завершенной научно-исследовательской работой, об-

ладающей внутренним единством и выполненной самостоятельно. Полученные результаты новы и носят теоретический характер. Содержание диссертации соответствует специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа в целом отвечает требованиям раздела II «Положения о порядке присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Абделхазиз Мостафа Абдаллах Ахмед заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент: доктор физико-математических наук (специальность: 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, руководитель научной лабораторной «Математическое моделирование и информационные технологии в науке и образовании», Физико-математический институт, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», e-mail: [tarasevich@asu.edu.ru](mailto:tarasevich@asu.edu.ru) тел.: +7 8512 246632

Юрий Юрьевич Тарасевич

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет»,  
ул. Татищева, 20а, г. Астрахань, 414056  
Телефон: 8 (8512) 24-64-00.  
Факс: 8 (8512) 49-41-57.  
Веб-сайт организации: <http://asu.edu.ru>  
Электронный адрес организации: [asu@asu.edu.ru](mailto:asu@asu.edu.ru)

