

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Боброва Максима Сергеевича «РАЗВИТИЕ ТЕРМОГРАВИАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ
В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ ГАЗА ПРИ НАЛИЧИИ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННОЙ
ТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа посвящена численному исследованию нестационарных процессов, проявляющихся в термогравитационных конвективных течениях при наличии линейно-протяженной температурной неоднородности на подстилающей поверхности. С помощью методов численного моделирования (DNS, LES, RANS) исследуются течения в широком диапазоне чисел Рэлея. Особое внимание уделяется низкочастотным осцилляциям, проявляющимся в потоке при наличии линейной симметрии распределения температуры на горизонтальных стенках. Исследуются причины возникновения данных осцилляций, а также условия, при которых данные колебания возникают и имеют максимальную амплитуду.

Несмотря на глубокую проработанность и широту охвата работ по данной тематике, до сих пор существует ряд задач, требующих дополнительного исследования. Это, например, возникновение нестационарных и колебательных эффектов при наличии в потоке конкурирующих мод течения. В данной работе нестационарность течения возникает из-за наличия двух областей потока, между которыми может перераспределяться тепловая и кинетическая энергия. Переток кинетической энергии из одной части потока в другую приводит к накоплению потенциальной энергии (за счет силы плавучести) в противоположной части, что создает основу для колебательного процесса. Данная постановка имеет природные аналогии в атмосферных течениях (пример - атмосферный погранслой вблизи рек), что обуславливает прикладное значение и актуальность настоящей работы. Работа имеет также фундаментальное значение, поскольку способствуют более глубокому пониманию механизмов возникновения когерентных структур и квазипериодических колебательных процессов в конвективных течениях за счет неоднородных граничных условий.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка литературы. Работа изложена на 129 листах машинописного текста, включая 63 рисунка, библиографического списка из 113 наименований работ. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из которых 7 входят в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ. Результаты диссертационного исследования докладывались соискателем на международных и всероссийских конференциях.

Во введении показана актуальность работы, сформулирована цель работы и поставлены задачи исследований.

В первой главе представлен обзор основных работ по тематике исследования, показывающий основные направления исследований, а также показана актуальность данного исследования на основании обзора литературы.

Во второй главе методом прямого численного моделирования исследовалось влияние линейно-симметричной неоднородности в распределении температуры на горизонтальных поверхностях на образование и эволюцию крупномасштабных когерентных вихревых структур. Найден диапазон соотношений между горизонтальным и вертикальным перепадами температур, при которых наблюдается эффект низкочастотных колебаний. Предложен механизм, объясняющий появление колебаний в потоке при данных условиях. Предложена асимптотическая оценка периода колебаний с ростом числа Рэлея.

В третьей главе представлены результаты исследования методом RANS динамики конвективного пограничного слоя над линейно-симметричной температурной неоднородностью для большего пространственного масштаба. Исследована зависимость характеристик низкочастотных колебаний положения восходящего потока, образующихся под воздействием линейно-симметричной поверхности тепловой неоднородности, при изменении расстояний между горизонтальными стенками при высоких числах Рэлея. Предложена и протестирована модификация классической $k-\epsilon$ модели турбулентности, улучшающая точность восстановления теплового потока на стенке за счет учета эффектов плотностной стратификации в потоке, выраженных через локальное число Ричардсона.

В четвертой главе представлены результаты численного исследования эффекта от течения реки на конвекцию в ночном пограничном слое при условии положительной разницы температур между поверхностью реки и окружающей почвы. Обнаружено значительное ускорение прорастания слоя инверсии над рекой при учете ее течения, а также образование при этом крупномасштабных вихревых структур, концентрирующих в себе как вертикальную компоненту завихренности, так и повышенную температуру. Исследовано формирование устойчивого течения воздуха через реку при наличии изгиба русла.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Автореферат диссертации изложен на 25 страницах и отражает основные положения и результаты диссертации.

К диссертационной работе имеются следующие замечания и пожелания:

1. Выводы работы во многом основываются на результатах численных расчётов и их анализе. Для проведения расчетов используются известные пакеты MircоНН и OpenFOAM с некоторой собственной модификацией. Проверялись ли полученные результаты другими пакетами (или другими решателями в составе использованных пакетов, если таковые имеются)?

2. В работе недостаточно информации о времени вычислений и использованном для вычислений оборудовании. Возможно ли использовать полученные модели в оперативной практике?

3. Желательно пояснить, почему в Главе 4 используется метод LES, а не RANS. Проводилось ли сравнение расчетов с реальными измерениями?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Полученные результаты считаю достоверными, а научные положения, вынесенные на защиту, и выводы по работе – обоснованными. С формулировками пунктов научной новизны согласен.

Заключение о соответствии диссертации критериям.

Основываясь на актуальности темы, новизне и уровню научных результатов, научной и практической ценности, диссертация Боброва Максима Сергеевича «Развитие термогравитационной конвекции в горизонтальном слое газа при наличии линейно-протяженной температурной неоднородности на подстилающей поверхности» соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а также требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Таким образом, соискатель, Бобров Максим Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Пененко Алексей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник и заместитель директора по научной работе Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук.

(Адрес организации: 630090, Российская Федерация,
Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект

Академика Лаврентьева д.6;

Сайт орг.: <https://icmmg.nsc.ru/>

Телефон: +7(383)330-87-83

E-mail: kanc@sscc.ru)

доктор физико-математических наук (05.13.18 -

Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ)



Пененко Алексей
Владимирович

08 декабря 2025 г.

Подпись Пененко А.В. удостоверяю

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН
к.ф.-м.н.



Вшивкова Людмила
Витальевна

08 декабря 2025 г.