

ОТЗЫВ

официального оппонента Сухановского Андрея Николаевича
на диссертацию Полудницина Анатолия Николаевича
«Надкритические конвективные течения воздуха в наклоняемой замкнутой полости»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертации.

Тепловая конвекция в замкнутых объемах является объектом интенсивного изучения в связи с большим количеством приложений. С практической точки зрения наибольший интерес представляет влияние конвективных течений на процессы теплообмена. Значительные усилия направлены на решения задач управления интенсивностью теплообмена в самых различных технических системах. Естественная конвекция даже в полостях простой геометрической формы, характеризуется разнообразием возможных течений, сложной динамикой и является сложным объектом для исследования. Наибольшее внимание при исследовании естественной конвекции в замкнутых полостях уделено конвекции Рэлея-Бенара, когда полость подогревается снизу и охлаждается сверху. Для ламинарных режимов получен набор возможных решений, зависящих от значений чисел Рэлея и Прандтля. Активно исследуется динамика крупномасштабных течений в турбулентных режимах. Как правило, рассматривается строго горизонтальное положение полостей, при этом отмечается, что даже небольшие отклонения от горизонтали могут приводить к существенным изменениям структуры течения и его динамики, которые в свою очередь могут оказать заметное влияние на процессы тепло-массопереноса. В связи с этим тема диссертации Полудницина Анатолия Николаевича посвященная детальному исследованию влияния наклона дна полости на структуру конвективных течений, вне всякого сомнения является **актуальной**.

Анализ содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы двух глав с описанием результатов, заключения и списка литературы, состоящего из 116 наименований. Полный объем диссертации составляет 114 страницы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели исследования, показаны новизна и практическая ценность.

В первой главе приведен подробный обзор исследований ламинарных конвективных течений в замкнутых полостях. Рассмотрены особенности формирования конвективных течений для различных значений чисел Рэлея и Прандтля. Приведены сведения о влиянии наклона дна в бесконечных слоях и кубических полостях с различными граничными условиями. Подчеркнута необходимость решения представленных в диссертации задач.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию конвекции воздуха в подогреваемой снизу и охлаждаемой сверху, наклоняемой кубической полости с теплопроводными боковыми границами. Описана экспериментальная установка, система измерений и методика исследования. Для различных значений надкритичности определены области существования аномального течения, изучены гистерезисные переходы от аномального к нормальному течению. Показано, что смена режимов сопровождается изменением ориентации основного валикового течения, что представляет несомненный интерес.

Третья глава посвящена численному исследованию конвекции в подогреваемой снизу и охлаждаемой сверху, наклоняемой полости квадратного сечения с

теплоизолированными и теплопроводными боковыми границами, в двумерной постановке. Для различных значений надкритичности определены области существования аномального течения, построены бифуркационные диаграммы. Проведен анализ структуры течения при переходе от аномального к нормальному режиму. Приведено сравнение с результатами других авторов.

Новизна и научная значимость.

В работе впервые проведено экспериментальное исследование перехода от аномального к нормальному режиму течения при изменении наклона кубической полости с теплопроводными границами. Построены бифуркационные кривые в интервале чисел Рэлея до $1.8 \cdot 10^5$. Исследованы гистерезисные переходы от аномального к нормальному течению, показано, что максимальная глубина гистерезиса достигается при двадцатикратной надкритичности. Наряду с экспериментальными исследованиями проведены численные расчеты в двумерной постановке, что позволило изучить структуру течения в переходных режимах. Полученные результаты убедительно показали, что наклон полости является важным фактором определяющим структуру и динамику конвективных течений. Научная значимость и новизна результатов исследований Полудницина А.Н. подтверждается участием в 5 научных конференциях и 13 публикациях (3 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК).

Практическая ценность результатов диссертационного исследования связана с возможностью их использования в различных технологических системах и процессах. Это касается организации оптимальных климатических условий в помещениях. Учет влияния наклона полости необходим для организации охлаждения различных цифровых устройств. Полученные результаты показывают возможность контролируемого изменения структуры течения и величины теплопотока при варьировании наклона полости.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается тщательным тестированием использованных методов измерений, использованием современного измерительного оборудования, проведением контрольных измерений, а также сравнением, там, где это возможно, с результатами других авторов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

К **достоинствам диссертации**, помимо результатов, следует также отнести то, что диссертант показал владение современными методами экспериментальных исследований. Необходимо отметить, что при проведении исследований, автором выполнен большой объем работ по подготовке установки, осуществлению экспериментов и обработке результатов. Автору удалось продемонстрировать большой потенциал исследуемой темы, которая несомненно будет иметь продолжение.

Замечания по диссертационной работе.

1. В работе исследуется конвекция Рэлея-Бенара в кубической полости с теплопроводными стенками. Толщина стенок является важным параметром, влияющим на распределение температуры, как на самой стенке, так и в области контакта стенки с теплообменником. Однако оценок того, как толщина стенок влияет на распределение температуры и измерений температуры на стенках для проведенных экспериментов в диссертации не приведено.
2. Термопары размещены достаточно далеко от стенок модели, чем обусловлен выбор расположения термопар, является ли он оптимальным?
3. Из результатов работы не до конца ясно как долго может существовать аномальный режим, может ли при достаточно долгом ожидании произойти смена аномального режима на нормальный?

4. Начальные углы, используемые для компенсации геометрических особенностей модели достаточно велики, что приводит к изначальному отклонению от горизонта на величину около 4 мм, что для ребра длиной в 40 мм, является заметной величиной. Просьба пояснить причину столь значительных смещений для организации исходного течения.
5. В диссертации не приводится статистика появления валов с ориентацией вдоль оси x и вдоль оси y в исходном состоянии (без углового отклонения).
6. Изменения угла производились с переменным шагом, вплоть до 5 градусов, однако данных о влиянии величины шага на эволюцию течения не приведены.
7. На рис.2.7 и рис.2.8 при надкритичности равной 2.5, при нулевом угле отклонения вал разрушается. Этот результат вызывает вопрос о том, почему в надкритическом режиме не происходит формирования валикового движения. Также и для других надкритичностей бифуркационные диаграммы проходят через ноль. Так как по методике проведения эксперимента в каждом положении достигалось стационарное состояние, непонятно почему при определенном угле отсутствует валиковая циркуляция.
8. В работе представлен очень интересный результат, а именно наличие интенсивных колебаний в аномальном режиме, однако физической интерпретации природы этих колебаний не приведено.
9. Касательно расчетной части, непонятно почему расчеты проводились в двумерной постановке, ведь хорошо известно, что конвективные течения в замкнутых полостях носят трехмерный характер даже при небольших надкритичностях. Современные вычислительные ресурсы, при использовании собственных кодов или CFD пакетов, позволяют провести расчеты ламинарной конвекции в трехмерной постановке.
10. Несмотря на качественное подобие, наблюдаются серьезные количественные расхождения между экспериментальными результатами и данными расчетов. Это касается значений характерных перепадов температуры в фиксированных точках, в эксперименте они растут с ростом надкритичности, а в расчетах уменьшаются. Критические углы в расчетах заметно больше по своей величине, максимальный критический угол в эксперименте достигается при надкритичности 20, а в расчетах при надкритичности 3.3. Это еще раз говорит о необходимости проведения расчетов в трехмерной постановке.

Надо отметить, что перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение по работе.

Считаю, что диссертация Полудницина Анатолия Николаевича является завершенной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям п.9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание степени кандидата наук. Материалы диссертационной работы соответствуют выбранной специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы, а ее автор Полудницин Анатолий Николаевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Я, Сухановский Андрей Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент Сухановский Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории Физической гидродинамики «Института механики сплошных сред Уральского отделения

Российской академии наук» - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИМСС УрО РАН). 614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1, тел. +7-342- 2378-381, san@icmm.ru.

Дата 11.05.2018



Сухановский Андрей Николаевич

Подпись А.Н.Сухановского заверяю.

Подтверждаю, что А.Н.Сухановский не входит в состав членов диссертационного совета Д 004.036.01, утвержденным приказом Минобрнауки России N 87/нк от 26 января 2018 г.



Ученый секретарь ИМСС УрО РАН, к.ф.-м.н.

Юрлова Наталья Алексеевна