

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Полудницина Анатолия Николаевича «Надкритические конвективные течения воздуха в наклоняемой замкнутой полости», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность исследований. Диссертационная работа А.Н. Полудницина посвящена экспериментальному и численному исследованию аномального конвективного течения воздуха, который принимается несжимаемым, в цилиндрических каналах и кубической полости. Изучение влияния наклона канала или тела на структуру гидродинамического потока является очень трудной и важной задачей, при решении которой появляется возможность управлять конвекцией. Данная проблема интересна еще тем, что уже в первых статьях, посвященных изучению конвективных течений в бесконечных слоях, было показано существование аномальных течений. Под аномальными течениями исследователи понимают возникновение потока, направленного от менее нагретой поверхности к границе с большей температурой. Другими словами, этот эффект позволяет наблюдать противотечения, генерируемые изменением ориентации сосуда относительно вертикали и горизонтали. Рассматриваемые в диссертационной работе модельные задачи являются важными для объяснения противотечений (аномальных течений) в технологических процессах, в задачах геофизической гидродинамики и для разработки различных охлаждающих систем. Таким образом, диссертация подготовлена по актуальной теме механики жидкости и газа, поскольку до настоящего времени имеется пробел в исследовании аномальных течений в замкнутых сосудах, ориентированных под углом к вертикали.

Структура и содержание диссертации. Диссертация объемом 114 страниц состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка, состоящего из 116 наименований. В диссертационной работе содержится 42 рисунка.

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, указана научная новизна и практическая значимость научных результатов, выносимых на защиту.

В **первой** главе диссертации представлен обзор литературы по теме диссертации. Автором проанализированы экспериментальные исследования, аналитические и численные методы решения задач для надкритических

течений в наклоняемых цилиндрах кругового и квадратного поперечного сечения и кубических полостях. Стоит отметить, что написан хороший обзор, позволяющий получить цельное представление о ранее проведенных исследованиях учеными и понять причины, по которым автором поставлены задачи для проведения научных изысканий для аномальных конвективных течений.

Во **второй** главе обсуждаются экспериментальные исследования ламинарной конвекции несжимаемого воздуха в подогреваемой снизу кубической полости, которая при проведении опыта наклоняется. Вертикальные границы полости являются теплопроводными. Показано существование гистерезисного перехода между нормальными и аномальными конвективными течениями. Показано, что существует критическое значение угла наклона и чисел подобия, при которых возможен гистерезисный переход. Кроме того, в данной главе описана экспериментальная установка, оборудование и методика, при помощи которых проведены исследования.

В **третьей** главе рассмотрено численное моделирование аномальных течений в цилиндрах с квадратным поперечным сечением. Методом конечных разностей при использовании двухполевого метода Тарунина интегрирования уравнений Обербека-Буссинеска для несжимаемой среды (газа) исследована конвекция теплоизолированными и теплопроводными стенками. Приведены бифуркационные диаграммы зависимости аномального течения от угла наклона для фиксированных значений числа Релея. Проведен анализ бифуркационных диаграмм, построены бифуркационные кривые, которые определяют границы существования аномального течения. Сходимость численного метода исследовалась на тестовой задаче о конвекции воздуха в квадратной полости с теплоизолированными стенками, численно проинтегрированной ранее другими методами.

В заключении приведены выводы по результатам диссертационного исследования влияния наклона полости на надкритическое конвективное движение в кубической полости и канале квадратного сечения, которые могут быть наклонены.

Научная новизна. В представленной к защите диссертации в качестве основных научных результатов можно выделить:

1. экспериментальные и численные получения и исследования бифуркационных кривых, позволяющих установить предельные значения параметров, характерные для существований аномальных конвективных течений в кубических полостях и прямоугольных каналах;

2. экспериментальное исследование гистерезисных переходов от аномальной конвекции к нормальному течению и установление максимальной степени надкритичности.

Научная и практическая значимость работы. Научные результаты, представленные соискателем, проясняют нелинейные ламинарные механизмы формирования аномальных конвективных течений несжимаемых газов и жидкостей в наклонных слоях, замкнутых наклоняемых полостях различной геометрии, которая может быть сведена конформными преобразованиями к цилиндрическим и кубическим сосудам. Данные результаты найдут свое применение для объяснения противотечений в аппаратах химической технологии, в задачах геофизической гидродинамики о конвекции над подводными склонами.

Достоверность и обоснованность результатов обеспечивается тщательным планированием экспериментальных методик, использованием современных методов измерения и обработки данных, проведением контрольных опытов, применением проверенных и хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов интегрирования уравнений Обербека-Буссинеска и сопоставлением полученных данных с теоретическими, экспериментальными и вычислительными исследованиями других авторов.

Результаты, представленные А.Н. Полуднициным, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях, симпозиумах, представлены и обсуждены на семинарах и опубликованы в 13 печатных работах, 3 из которых в научных журналах, входящих в Перечень ВАК.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат ясно, полно и правильно отражает структуру, основные результаты и выводы диссертации.

Замечания по диссертации и автореферату. При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом диссертации не возникает существенных замечаний по представлению материала. В работе имеется небольшое число неточностей и опечаток, не влияющих на восприятие научных результатов:

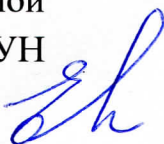
1. на странице 6 в диссертации говорится о том, что диссертация состоит из двух глав, а на самом деле – из трех. В автореферате данная неточность устранена;
2. в тексте третьей главы не дано пояснение выбора количества узлов для разностной сетки по координатам и условия выбора шага времени. Если выбор шага по времени обусловлен только ограничением Куранта, то можно было принять и другой шаг по времени. В тексте

диссертации об этом и говорится, но не понятна процедура выбора такого шага.

3. Целесообразно было в диссертации поставить библиографическую ссылку перед формулой (2.1) для случая $\alpha = \pi$ по аналогии с отсылкой к работе [102] для случая $\alpha = 0$.
4. На рисунке 2.6 не расшифрованы цвета кривых, соответствующих показаниям термопар. Они показаны только на рисунке 2.7.

Заключение. Диссертационная работа **Анатолия Николаевича Полудницина «Надкритические конвективные течения воздуха в наклоняемой замкнутой полости»** соответствует требованиям Постановления Правительства РФ 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями и дополнениями №335 от 30 июля 2014 г., 21 апреля, 2 августа 2016. Автор диссертации достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук,
заведующий сектором нелинейной
вихревой гидродинамики ФГБУН
Института машиноведения УрО РАН



Просвиряков
Евгений Юрьевич
28.05.2018 г.

Адрес: 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34,
ФГБУН Институт машиноведения УрО РАН.

Номер телефона: (343)374-20-38.

E-mail: evgen_pros@mail.ru

Подпись Евгения Юрьевича Просвирякова заверяю:
ученый секретарь ФГБУН
Института машиноведения УрО РАН



А.М. Поволоцкая