

ОТЗЫВ

официального оппонента Козлова Николая Викторовича
на диссертацию Кондрашова Александра Николаевича
«Динамика конвективного течения над локализованным источником тепла»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы»

Работа посвящена исследованию свободной конвекции над локализованными источниками тепла в ограниченных полостях. Рассматриваются стадия зарождения конвекции и стадия установившегося течения. Изучается влияние на конвекцию таких параметров, как размеры и форма нагревателей, а также свойства жидкостей и геометрические параметры полостей. Для исследования применяются натурный эксперимент и прямое численное моделирование.

Полный объём работы 150 страниц, она содержит 74 рисунка и 6 таблиц. Основное содержание изложено в пяти главах, в четырёх из которых представлены новые результаты, полученные автором лично или в соавторстве. Изложение материала хорошо структурировано, текст оформлен надлежащим образом.

Первая глава даёт весьма полное представление о масштабе и *актуальности* исследуемой проблемы. Конвективные течения встречаются повсеместно в природе и технике и являются объектом изучения уже на протяжении многих поколений исследователей. Несмотря на большое количество известных работ, тема исследования настолько обширна, что в науке по сей день сохраняется потребность в детальном изучении задач о конвекции. Обзор литературы, проведённый в первой главе, убедительно это показывает.

Во второй главе исследуется конвективное течение жидкости над локальным источником тепла в полости. Рассматривается процесс установления течения, а также структура установившегося течения и особенности распределения температуры, в зависимости от размера и формы нагревателя и от величины числа Рэлея Ra . Исследование проводится экспериментально и численно. При повышении Ra на этапе установления конвекции возможно разделение течения на несколько всплывающих тепловых плюмов. Порог устойчивости такого перехода понижается с увеличением размера нагревателя. Показано согласие различных методов исследования, результаты обобщены для различных размеров и форм нагревателя через модифицированное число Рэлея.

В третьей главе изучается влияние границ рабочей полости на режим развития теплового плюма, рассматривается конвекция в ячейке Хеле-Шоу. Автор учитывает время прогрева нагревателя, его размер и свойства жидкостей и, обобщая свои результаты с ранее известными, получает новое корреляционное выражение, описывающее скорость всплытия сформировавшегося плюма. Продемонстрировано согласие полученной формулы с натурным и численным экспериментами в исследованной области свойств жидкостей, геометрических и температурных параметров.

В четвёртой главе численно и экспериментально изучены стационарные режимы конвекции над локальным нагревателем в узком вертикальном слое – ячейке Хеле-Шоу. Описана потеря симметрии течения при критическом числе Рэлея. Изучено влияние геометрических параметров и граничных условий на структуру течения. Найден математический критерий симметрии течения, показано, что потеря симметрии происходит пороговым образом. Построена карта режимов течения на плоскости относительного размера полости и числа Рэлея.

Пятая глава посвящена изучению возможности применения явлений, рассмотренных в предыдущих главах, для измерения ускорений или угла наклона посредством конвективной ячейки. Разработан, изготовлен и испытан прототип конвективного акселерометра. В частности, экспериментально изучена конвекция над локализованным нагревателем в ячейке Хеле-Шоу при различном угле наклона ячейки в поле силы тяжести, а также в центробежном поле. Для этого были разработаны две дополнительные экспериментальные установки. Установлены пределы

чувствительности и разрешающая способность ячейки как измерительного прибора. Предложены способы повышения точности в зависимости от области применения.

Научная новизна и значимость. Изучена конвекция над источниками различной формы: правильными многоугольниками и кругом – обнаружены новые структуры течений, построена карта устойчивости. Исследовано влияние размеров нагревателя, расстояния между границами полости, её относительного размера. Полученные результаты расширяют и обобщают ранее известные закономерности динамики тепловых плюмов.

Практическая ценность работы обусловлена предложенной конструкцией конвективного датчика и возможностью применения полученных результатов для разработки новых и оптимизации существующих измерительных приборов.

Достоверность подтверждается использованием нескольких методов исследования, экспериментальных и численных, а также сопоставлением результатов с работами других авторов.

В работе можно отметить ряд недостатков:

Встречаются опечатки. Так, на стр. 15 во втором абзаце перепутаны знаки в неравенствах ($b > 1/4$, $b < 1/4$), о чём свидетельствует сравнение с предшествующим текстом. На стр. 59, на рис. 3.1 толщина кюветы измеряется вдоль оси X , в тексте – вдоль оси y . На стр. 103 в выражении (5.4) в выбранной системе координат вертикальная проекция силы тяжести, очевидно, должна иметь отрицательное значение.

Раздел 2.2.3, рисунок 2.8. Значения числа Рэлея отличаются для случаев с разной геометрией, но одинаковым перепадом температуры (рисунки а—в и б—г). Это обстоятельство не комментируется. Какие на самом деле значения приведены в подписи к рисунку: Ra или Ra_N ?

Раздел 2.3.2. Расчёты, проведённые автором, показывают, что тепловой плюм изменяет свои контуры при приближении к свободной поверхности. В этой связи было бы интересно также провести расчёты, воспроизведя расстояние между подогреваемым дном и свободной поверхностью, использованное в эксперименте. Автор справедливо указывает на то, что возможно лишь качественно провести сравнение расчёта и натурального эксперимента, однако не обсуждает то важное обстоятельство, что температура на поверхности может отличаться от температуры в слое.

Раздел 3.2.1. В описании экспериментальной установки на стр. 59 сказано: «Узкими боковыми сторонами конвективной ячейки служат грани алюминиевого массива комнатной температуры», однако в конце стр. 60 сказано: «Прозрачность узких боковых стенок позволяет провести визуализацию течения с применением метода PIV. Для этого в рабочую жидкость добавлялись полистироловые светорассеивающие частицы, а измерительная полость освещалась рассеянным световым в плоскости xz .» Остаётся непонятным, как в точности проводилась визуализация течения.

Раздел 3.2.2. На стр. 64 сказано: «на начальном этапе вблизи поверхности нагревателя образуется сферический температурный пограничный слой». Поскольку термограмма снимается с плоскости, а конвекция протекает в ячейке Хеле-Шоу, использование термина «сферический» не совсем удачно, хотя образно это выражение понятно.

Раздел 3.3.3. Выражение (3.12) подразумевает, что скорость восходящего потока (вертикальная) и скорость набегающего (горизонтальная, U) равны, поскольку сила Архимеда, имеющая только вертикальную проекцию, уравнивается горизонтальной проекцией силы вязкого трения. Вероятно, такое допущение разумно, однако условия, при которых оно может быть использовано, не обсуждаются при использовании равенства.

Раздел 5.3.2. На рис. 5.12 не поясняется, с какой термодины снято значение Θ . Стоит сказать, что в автореферате рядом с рис. 13 такая информация приводится.

Сделанные замечания не портят в целом положительное впечатление от работы. Научная значимость, новизна и актуальность работы не вызывают сомнений.

Считаю, что диссертационная работа Кондрашова Александра Николаевича «Динамика конвективного течения над локализованным источником тепла» удовлетворяет требованиям п. 9

«Положения о порядке присуждения 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 её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Я, Козлов Николай Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент Козлов Николай Викторович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории Гидродинамической устойчивости «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). Адрес: 614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1, тел. +7-342- 2378-314, kozlov.n@icmm.ru.

Дата

15/11/2019



Козлов Николай Викторович

Подпись Н.В. Козлова заверяю.

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



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

Юрлова Наталья Алексеевна