

Федеральное государственное бюджетное
научное
учреждение «Федеральный исследовательский
центр «Красноярский научный центр
Сибирского
отделения Российской академии наук»
(ФИЦ КНЦ СО РАН)
Институт вычислительного моделирования
Сибирского отделения Российской академии
наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
(ИВМ СО РАН)

Академгородок, д. 50, стр. 44, Красноярск,
660036

тел.: (391) 243-27-56, факс (391) 290-74-76

e-mail: sek@icm.krasn.ru; <http://icm.krasn.ru>

ОКПО 05057884, ОГРН 1022402133698,

ИНН/КПП 2463002263/246345005

12.11.2020 № 15303 - 01/03-15
на _____ от _____

Отзыв ведущей организации

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института вычислительного
моделирования – обособленного
подразделения Федерального
государственного бюджетного научного
учреждения «Федеральный
исследовательский центр «Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук

д.ф.-м.н. профессор



В. М. Садовский

«12» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Рысина Кирилла Юрьевича

«Экспериментальное исследование вибрационной тепловой конвекции во вращающемся
плоском слое», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертационной работы. Широкое использование жидкостных систем в различных технологиях, а также фундаментальные исследования геофизических процессов стимулируют постоянный интерес к гидродинамике и изучению закономерностей конвекции различной природы. Системы, в которых присутствует конвекция, порождённая тепловыми и/или механическими воздействиями (вибрациями, вращением и т.п.), активно применяются в различных областях науки и техники, например, в аэрокосмической и химической промышленности, материаловедении. Особенно востребованы исследования, обеспечивающие получение знаний в области контроля и технологий управления конвективными режимами, подавления нежелательных возмущений и кризисных явлений в рабочих жидкостях. Значительная роль отводится экспериментальным исследованиям, которые обеспечивают эмпирическую базу для дальнейшего развития новых теоретических подходов к описанию динамики жидкостных систем и их верификации.

По мере развития жидкостных технологий и их внедрения в разнообразные опытные методики и наукоёмкое производство возникают всё более сложные задачи о течении жидкости в условиях разнородных внешних воздействий. Во многих случаях смещение баланса силовых, энергетических и массовых потоков, связанное с одновременным действием тепловых эффектов, вибраций и вращения, поддаётся управлению и может использоваться для многократной интенсификации или, наоборот, ослабления процессов теплообмена, создания новых комбинаций технологических условий, а также для получения уникальных продуктов и материалов с заданными характеристиками. Например, для работы некоторых жидкостных устройств, применяемых в химических технологических процессах, необходимо быстрое и эффективное подавление конвекции, которое может быть обеспечено за счёт вибраций или вращения. Отсюда возникает необходимость в разработке соответствующих инженерных конструкций и знании закономерностей процессов тепло- и массообмена в условиях осложняющих факторов. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, посвящённых проблеме управления режимами конвекции, позволяет достичь более глубокого понимания фундаментальных аспектов физических явлений и механизмов теплопереноса, а также получить качественную информацию о закономерностях функционирования жидкостных систем. Таким образом, тематика исследования, выполненного в диссертационной работе К. Ю. Рысина «Экспериментальное исследование вибрационной тепловой конвекции во вращающемся плоском слое», не вызывает сомнений и представляет как теоретический, так и практический интерес.

Характеристика содержания диссертационной работы. Работа посвящена исследованию различных характеристик виброконвективных течений и параметров устойчивости жидкостей во вращающемся плоском слое. Цель диссертационной работы заключается в экспериментальном исследовании особенностей течений жидкости в граничном массиве, подверженном вибрациям и вращению, в определении характера и степени влияния указанных управляющих воздействий на пороговые характеристики устойчивости.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, содержащих 69 рисунков, заключения и списка литературы из 139 наименований, изложенных на 139 страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность исследуемой в диссертации проблемы, сформулированы цель и задачи работы, перечислены полученные новые результаты, их научно-практическая ценность, описана методология диссертационного исследования и используемые экспериментальные методики, приведены положения, выносимые на защиту, а также обоснованность и достоверность результатов и выводов, дана краткая характеристика разделов диссертации.

В первой главе представлено детальное описание экспериментального стенда и его отдельных компонентов. Приведены методика опытной отработки установки, результаты тестирования методик измерения, а также результаты тестового эксперимента по исследованию тепловой конвекции во вращающемся вокруг вертикальной оси плоском слое. Указаны отличительные характеристики используемых в экспериментах методов визуализации. Обсуждаются результаты эксперимента по изучению влияния термовибрационного механизма на структуру конвективных течений и характеристики теплопереноса в плоском слое, вращающемся вокруг горизонтальной оси, и их устойчивость. Получены экспериментальные зависимости порога устойчивости от скорости вращения. Анализируются условия возникновения осреднённых течений, слабо интенсифицирующих теплоперенос, за счёт генерации инерционных волн. Проведено количественное сравнение критических значений модифицированного вибрационного параметра для рэлеевской и вибрационной конвекции.

Во второй главе представлены результаты экспериментального исследования тепловой конвекции во вращающемся наклонном плоском слое с границами разной температуры. Исследовано влияние угла наклона или, что то же самое, ориентации слоя относительно силы тяжести, и скорости вращения на параметры теплопереноса и форму конвективных структур, возникающих в допороговой и закритичной области. Проводится анализ характеристик осреднённой конвекции и порождающих её механизмов. Получена экспериментальная карта режимов конвекции и порогов устойчивости квазиравновесия на плоскости управляющих параметров для различных толщин жидкого слоя и углов наклона, доказывающая стабилизирующее влияние вращения.

В третьей главе изучаются режимы вибрационной тепловой конвекции в горизонтальном плоском слое, совершающем круговые вибрации в горизонтальной плоскости в условиях поперечного перепада температур и заданного вращения полости вокруг вертикальной оси. Для проведения соответствующих экспериментов был разработан, реализован и апробирован вибростенд, позволяющий моделировать поляризованное по кругу силовое поле посредством круговых поступательных вибраций рабочей полости. В ходе экспериментов определена граница возбуждения вибрационной тепловой конвекции в плоскости определяющих безразмерных параметров, показано влияние толщины жидкого слоя на пороговое значение частоты вибраций. Предложена новая методика визуализации виброконвективных структур с использованием термохромной плёнки, позволяющая зафиксировать формирование слабо различимых периодических структур. Исследован вклад вращения в возбуждение вибрационной конвекции в плоском слое, подверженном тепловой нагрузке сверху, и его влияние на пороговые значения управляющих параметров. Описано докритическое возникновение инерционных волн.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе, обозначены перспективы дальнейшей разработки темы.

Научная новизна. В рецензируемой работе впервые в рамках экспериментального подхода систематически изучены режимы виброконвективных течений и теплоперенос в плоском вращающемся наклонном слое в широком диапазоне значений параметров, характеризующих внешние механические воздействия (вибрации и вращение). При выполнении исследований впервые получены следующие результаты:

1. Изучено влияние вращения на возникающие режимы конвекции во вращающемся вокруг горизонтальной оси плоском слое. По результатам температурных измерений дифференцированы разные режимы конвекции, которым соответствуют течения различной топологии (концентрические валы, сосуществование концентрических валов с тороидальными вихревыми структурами, гексагональные ячейки, крупномасштабные ячейки). Экспериментально зафиксировано формирование инерционных волн, генерирующих докритические осреднённые течения.

2. Изучены режимы течений в произвольно ориентированном в поле массовых сил плоском вращающемся слое, на границах которого поддерживается различная температура. Экспериментально доказаны определяющая роль двух различных механизмов – рэлеевского и термовибрационного – в пороговом возбуждении ячеистых конвективных структур разного размера в исследуемой системе и возможность развития термовибрационной конвекции в слое с устойчивой температурной стратификацией. Доказано стабилизирующее влияние вращения на возбуждение термогравитационной и термовибрационной конвекции.

3. Экспериментально исследованы параметры виброконвективных режимов, индуцированных быстровращающимся силовым полем в условиях независимого вращения граничного жидкого массива. Разработан экспериментальный стенд, позволяющий моделировать круговые вибрации в горизонтальной плоскости для вращающейся вокруг вертикальной оси полости. Предложена новая методика визуализации возникающих пространственных структур, основанная на применении термохромной плёнки. Изучен характер влияния инерционного силового поля на топологическую структуру течений. Обнаружено формирование инерционных волн во вращающемся плоском слое под действием круговых вибраций в допороговой области.

Достоверность и обоснованность полученных автором в диссертационной работе результатов обеспечивается использованием надёжного современного оборудования и апробированных методов измерения и обработки данных, подтверждается высокой воспроизводимостью результатов экспериментов и удовлетворительным совпадением результатов, полученных диссертантом, с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется тем, что полученные экспериментальные результаты позволяют оценить характер и степень влияния отдельных механизмов на структуру возникающих режимов виброконвективных течений во

вращающихся жидких слоях. Обнаруженные эффекты стимулируют развитие новых теоретических подходов для получения и оценки эффективных характеристик, позволяющих предсказать эволюцию режимов вибрационной тепловой конвекции. Результаты диссертационной работы могут служить базой для проверки и подтверждения адекватности и непротиворечивости новых или уточнённых математических моделей, а также для апробации новых численных алгоритмов, которые могут быть использованы при изучении природных гидродинамических систем, испытывающих действие осциллирующих силовых полей. Предложенная в диссертации К. Ю. Рысина методика визуализации конвективных потоков позволяет фиксировать коротковолновые периодические пространственные структуры и исключить нежелательное влияние трассеров на исход экспериментов, характерное для PIV-метода. Результаты, полученные автором, дополняют имеющиеся теоретические представления об особенностях и режимах течений, реализующихся в жидкостных системах, подверженных влиянию осложняющих факторов типа вибраций и вращения. С практической точки зрения полученные результаты могут быть использованы при создании и оптимизации высокоэффективных технологий для получения композиционных материалов заданной структуры.

Замечания по содержанию диссертации:

1. Из описания экспериментальной установки в п. 1.1 остаётся неясным насколько сглаживается неравномерность передачи вращения. Как выдерживается и контролируется постоянство скорости вращения и могут ли возникать дополнительные эффекты микроускорений?

2. Возможны ли гистерезисные явления при изменении скорости вращения или во всех рассмотренных случаях данной скорости вращения соответствует определённый вид конвективных структур?

3. На стр. 32 соискатель указывает, что в качестве рабочих жидкостей использовались вода, водный раствор глицерина и этиловый спирт. Однако нигде в работе не упоминается, исследовалось ли влияние теплофизических свойств рабочей жидкости на параметры возникающих конвективных режимов. К тому же в подписях ко многим рисункам не указывается для какой жидкости получены те или иные структуры или экспериментальные зависимости определяющих безразмерных параметров. Означает ли это, что все приведённые количественные и качественные результаты справедливы, по крайней мере, для всех упомянутых жидкостей? Сохраняются ли, например, длины волн возникающих конвективных структур, значения критических углов наклона полости, соответствующих смене механизмов конвекции и трансформации ячеек и т.д.? Улавливает ли предложенная термохромная методика периодические коротковолновые структуры в водном растворе глицерина?

Кроме указанных замечаний и вопросов по содержанию диссертации, имеется замечание технического характера: в тексте диссертации и автореферата встречаются опечатки (стр. 20 диссертации и стр. 6 автореферата: «69 рисунка»; стр. 22 диссертации и стр. 12 автореферата: «В третье главе» и др.). В списке литературы ссылки [78] и [79] соответствуют одной и той же работе.

Заключение. Высказанные замечания не снижают ценности, научной и практической значимости работы и общей положительной оценки диссертации. Диссертация и автореферат написаны ясным научным языком, хорошо иллюстрированы. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. В нём последовательно сформулированы положения, выносимые на защиту, и представлены основные результаты работы, полностью соответствующие поставленным целям и задачам.

Основные научные результаты диссертации с достаточной полнотой **опубликованы** в 29 печатных работах, в том числе в 4 статьях в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК в действующей редакции (из них 2 статьи – в научных изданиях, индексируемых в системе цитирования Web of Science, 2 – в Scopus), в 3 статьях в сборниках научных статей, и в 7 публикациях в сборниках трудов научных конференций.

Диссертация К. Ю. Рысина соответствует отрасли «физико-математические науки», а содержательная часть и полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы по областям исследования «Гидродинамическая устойчивость», «Линейные и нелинейные волны в жидкостях и газах» «Тепломассоперенос в газах и жидкостях». Диссертационная работа К. Ю. Рысина «Экспериментальное исследование вибрационной тепловой конвекции во вращающемся плоском слое» является завершённым научным исследованием. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а К. Ю. Рысин заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв подготовлен д.ф.-м.н. (01.02.5 – механика жидкости, газа и плазмы), ведущим научным сотрудником, заведующим отделом дифференциальных уравнений механики Института вычислительного моделирования ФИЦ КНЦ СО РАН Викторией Бахытовной Бекежановой (660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50/44, тел. (391)290-51-42, e-mail: vbek@icm.krasn.ru).

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании объединённого научного семинара «Математическое моделирование в механике» отдела дифференциальных уравнений механики Института вычислительного моделирования – обособленного

подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН и Института математики и фундаментальной информатики Сибирского федерального университета.

Присутствовало на заседании 18 человек.

Результаты голосования: «за» – 18 человек, «против» – 0, «воздержалось» – 0 (протокол № 08/2020 от 09 октября 2020 г., <http://icm.krasn.ru/seminar.php?id=mathmech>).

Заведующий отделом дифференциальных
уравнений механики Института
вычислительного моделирования
ФИЦ КНЦ СО РАН

д.ф.-м.н.



Виктория Бахытовна Бекежанова

Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВМ СО РАН); 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, д. 50/44; тел. (391) 290-51-42; sek@icm.krasn.ru.

