

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Сухановского Андрея Николаевича на диссертацию Ширяевой Марии Андреевны «Экспериментальное исследование инерционно-волновых режимов течений жидкости в неравномерно вращающемся цилиндре», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

### **Актуальность темы диссертации.**

Инерционные волны один из основных типов движений во вращающихся жидкостях. В связи с этим чрезвычайно широк спектр задач связанных с формированием инерционных волн в различных природных и технологических системах. Наибольший интерес вызывает генерация волновых аттракторов и инерционных мод. Волновые аттракторы формируются благодаря фокусировке инерционных волн и могут быть источниками волновой турбулентности в бассейнах сложной формы. Образование инерционных мод происходит в узком интервале частот в результате возбуждения собственных инерционных колебаний и имеет резонансную природу. Пространственная структура таких крупномасштабных течений определяется геометрией полости. Предполагается, что влияние инерционных волн может носить определяющий характер при формировании и эволюции течений в атмосфере и океане. При этом в силу сложности реальных систем выделить эффекты, обусловленные именно инерционными волнами, чрезвычайно трудно. Гораздо легче это сделать при помощи относительно простых, идеализированных конфигураций. В связи с этим тема диссертации Ширяевой Марии Андреевны посвященная изучению инерционно-волновых режимов течений жидкости в неравномерно вращающемся цилиндре, вне всякого сомнения, является **актуальной**. **Целью работы** является экспериментальное изучение инерционно-волновых режимов течений во вращающемся круговом цилиндре с наклонными торцевыми стенками.

### **Анализ содержания диссертации.**

Диссертация общим объемом 120 страниц состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы из 109 наименований.

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

**В первой главе** представлен обзор литературы по теме научного исследования, выделены наиболее актуальные проблемы, обоснован выбор задачи исследования.

**Во второй главе** приведены результаты экспериментального исследования линейных инерционно-волновых режимов течений в неравномерно вращающейся цилиндрической полости с наклонными торцами. Показаны карты течений и описаны законы изменения толщины сдвиговых слоев в инерционной волне в зависимости от параметров либраций и числа Экмана. Представлена лучевая модель распространения волновых лучей, проведено сравнение с результатами экспериментов. Исследованы осреднённые течения, генерируемые инерционными волнами.

**В третьей главе** представлены результаты исследования нелинейной динамики резонансных инерционных режимов. В данной главе представлены результаты экспериментального исследования нелинейной динамики жидкости во вращающемся цилиндре в зависимости от амплитуды модуляции скорости, безразмерной частоты либраций, числа Экмана и геометрии торцов полости. Исследована устойчивость

осредненного азимутального течения жидкости для параллельного и непараллельного наклона торцов.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**Научная новизна** не вызывает сомнений, большая часть результатов получена **впервые**. В качестве наиболее интересных результатов можно выделить оригинальную методику восстановления скорости для различных фаз либрации, обнаружение трех различных инерционно-волновых режимов, а именно, аттрактор инерционных волн, инерционной моды и режима симметричного отражения волн от стенок полости, неустойчивость среднего азимутального течения, возникающего в результате действия инерционных волн.

В целом полученные результаты характеризуются большой **теоретической значимостью** и будут востребованы для теоретического описания процессов связанных с инерционными волнами в замкнутых полостях.

**Практическая значимость** работы обусловлена возможным использованием инерционных волн в качестве инструмента для управления тепло- и массопереносом в технических системах, так как инерционные волны могут генерировать крупномасштабные течения и обеспечивать быстрое равномерное перемешивание различных компонентов.

**Основные результаты** диссертации достаточно полно представлены в 16 опубликованных работах, 4 из которых проиндексированы в международных базах Scopus и Web of Science.

**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 измерений в быстро вращающихся полостях, что совсем не тривиально. 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. Еще одним важным достоинством данной работы является ее выраженный поисковый характер, который способствовал выявлению ряда новых эффектов.

Работа не лишена некоторых недостатков, которые впрочем, в значительной степени обусловлены поисковым характером исследований, при этом можно выделить ряд конкретных **вопросов и замечаний по диссертационной работе**.

1. Прецессия, или движение наклонной крышки позволяют оказывать более сильное влияние на систему, чем либрации. В чем состоит преимущество или принципиальное отличие либрационного способа воздействия по сравнению прецессией или вращением наклонной крышки?

2. Одной из причин выбора наклонных торцов было изучение бета-эффекта, который также является источником волновых движений (волн Россби). Кажется, что бета-эффект в случае параллельного и антипараллельного расположения торцов должен приводить к

существенно различным результатам, так как в одном случае расстояние между торцами одинаковое, а в другом существенно различное, так ли это?

3. В описании формулы 2.6 указано, что рассчитывается средняя скорость, а из формулы следует, что рассчитывается ее среднее квадратическое значение скорости, что все-таки рассчитывалось на самом деле?

4. В ходе одного периода либраций средняя по пространству скорость пульсационного течения имеет два максимума, при этом значения этих максимумов заметно отличаются. Чем это обусловлено?

5. Работа полностью экспериментальная, при этом не указаны погрешности измерений. Особенно это важно при расчете дифференциальных характеристик, таких как завихренность.

6. К сожалению, в тексте диссертации большое количество опечаток и несогласований, что затрудняет ее прочтение.

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

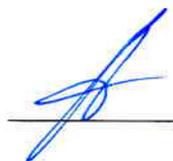
### **Заключение по работе.**

Считаю, что диссертация Ширяевой Марии Андреевны является завершенной научно-квалификационной работой, результаты которой удовлетворяют критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ширяева Мария Андреевна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Турбулентности «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](mailto:san@icmm.ru).

Дата 25.11.2024

 Сухановский Андрей Николаевич

Подпись Сухановского Андрея Николаевича заверяю.

Подтверждаю, что А.Н.Сухановский 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 Н. А.

