

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Тюлькиной Ирины Валерьевны на тему «Коллективные явления в гидродинамических системах за рамками теории Отта-Антонсена», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация И.В. Тюлькиной посвящена исследованию сложных коллективных явлений в гидродинамических системах в рамках подходов нелинейной динамики и теории стохастических систем в представлении фазовых осцилляторов. При этом, несмотря на то, что синхронизация фазовых колебаний является известным и во многом хорошо изученным феноменом, ряд наиболее нетривиальных ее проявлений, таких как химерные состояния, еще далеки от полного объяснения и находятся в фокусе активных современных исследований. В случае же распределенных сред соответствующая теория развита еще меньше, ограничиваясь в основном среднеполевыми приближениями, которые имеют ограниченную область применимости, что ставит вопрос о необходимости обобщения математических подходов к таким задачам, а также анализу их практической применимости для эффективного вычислительного моделирования в области механики жидкости и газа.

Таким образом, проблема, исследованная в данной диссертационной работе, обладает высокой актуальностью, теоретической и практической значимостями и полностью соответствует паспорту специальности, по которому работа представлена к защите. Полученные результаты отражены в достаточном количестве статей, среди которых можно выделить публикации в ведущих мировых изданиях в области физики и нелинейной динамики – Physical Review Letters и Chaos. Их высокий уровень цитирования другими исследователями свидетельствует о внимании к ним широкого научного сообщества как существенному вкладу в развитие представлений в данной области. Апробация работы прошла в виде докладов на достаточном количестве научных конференций по соответствующей работе тематике.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** приводится общая характеристика работы, включающая ее актуальность, цель и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимости, положения, выносимые на защиту, сведения о

методологии, личном вкладе автора, апробации и публикации результатов. Кроме того, в этом же разделе приведен обзор литературы, подтверждающий современный научный интерес к исследуемому в диссертации кругу проблем и знакомство автора с текущим состоянием исследований в данной области.

**Первая глава** посвящена модельному математическому исследованию задачи о термоконвекции двухкомпонентной смеси в пористой среде. Задача рассматривается в чисто-гидродинамическом приближении, т.е. при пренебрежении эффектами термохимии и теории растворов. Уравнения термоконцентрационной конвекции с учетом эффекта Соре используются в приближении Дарси–Буссинеска в длинноволновом приближении. Наиболее существенным результатом является сведение распределенной системы к системе уравнений фазовой динамики, что позволило автору эффективно использовать аппарат теории динамических систем для проведения слабонелинейного анализа устойчивости по отношению к возникновению колебательных мод, синхронизации и т.д. Результаты аналитических выкладок проиллюстрированы графически. Полученные в первой главе результаты заложили основу для дальнейшего анализа.

**Вторая глава** посвящена обобщению теории Отга–Антонсена для фазовых осцилляторов. Основным инструментом, разработанным в работе, является подход круговых кумулянтов, который заменяет рассмотрение моментов, позволяя избежать проблемы, связанные с медленной сходимостью последних. На базе этого метода изучены двухгрупповые решения, расширяющие многообразие Отга–Антонсена, и исследована динамика образуемых ими химер.

**Третья глава** излагает дальнейшее обобщение разрабатываемого подхода, рассматривая, в отличие от первых двух глав, оперирующих полностью динамическими системами, включение стохастических компонентов (внутреннего шума). В качестве иллюстративной модели использована система двух симметрично связанных ансамблей осцилляторов Курамото–Сакагучи. Основная идея заключается в переходе к кумулянтному разложению, которое при достаточно низком уровне шума может быть оборвано на небольшом числе членов, что позволяет провести дальнейший анализ. Показано, что неустойчивости, которые могут возникнуть при подобной редукции, могут быть эффективно подавлены путем введения малой регуляризирующей диссипации. С использованием разработанного подхода и его численной реализации исследовано влияние шума на синхронность колебаний конвективных течений, в том числе показаны применимость метода к исследованию малого числа связанных осцилляторов, а также негауссова шума. Показано хорошее согласование

расчетов на основе разработанной аналитической техники и результатов прямого численного моделирования.

В **заключении** приведен синопсис полученных результатов по главам и сделаны обобщающие их выводы.

Таким образом, материал, представленный в диссертации, содержит последовательное изложение результатов решения последовательности логически взаимосвязанных задач в области математического моделирования систем механики жидкости и газа, достоверность которых не вызывает сомнения.

Вместе с тем, к тексту работы имеется ряд замечаний:

1. Обсуждение связи коэффициента самодиффузии и вязкости жидкости на основе гидродинамической флуктуационно-диссипативной модели является слишком переупрощенным: для молекулярного транспорта, тем более для полярных молекул, даже модельный эффективный радиус является и существенно нелинейной функцией температуры и отношение величин обладает достаточно нетривиальным коэффициентом пропорциональности (см. например, Ertl&Dullien); данное упрощение наглядно видно и из приведенных в работе оценок – расхождение в полтора раза в таком узком интервале температур с точки зрения физической термодинамики является весьма большим.
2. При введении полиномиальной регрессии данных, использованных в примерах, утверждение о том, что они «удовлетворительно соответствует табличным данным» следовало бы подтвердить явным указанием количественных критериев, например, относительной величины среднего абсолютного отклонения (AAD).
3. Местами различные величины обозначены одними и теми же буквами, например, фазовый сдвиг коэффициента тепловой связи обозначен на рис. 7 той же буквой бета, что и изобарный коэффициент теплового расширения, в то время как в формулах ранее была использована буква а.
4. При анализе химерных состояний было бы полезно проиллюстрировать распределение типа состояний как функцию номеров осцилляторов в цепочке, а также привести численную или графическую оценку зависимости мощностей подмножеств каждого типа в зависимости от управляющих параметров.

Однако данные замечания не снижают высокую оценку выполненных исследований в области решения конкретных теоретических задач механики жидкости и газа с использованием разработанных подходов.

Таким образом, можно заключить, что представленная диссертационная работа содержит всю необходимую совокупность оригинальных научных результатов, обобщений и выводов, удовлетворяет всем требованиям пп. 9–11, 13–14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 26.10.2023), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Тюлькина Ирина Вадимовна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент

- доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, заведующий отделом теоретической физики Научно-исследовательского центра физики конденсированного состояния Курского государственного университета

Постников Евгений Борисович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный университет» (ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»). Почтовый адрес: ул. Радищева, 33, Курск, 305000  
Телефон: +7 (4712) 51-04-69; электронная почта: postnicov@gmail.com

Согласен на обработку персональных данных

