

УТВЕРЖДАЮ

проректор федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»



д.т.н.

Комаров И.И.

» _____ 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертационную работу Ян Наинг У «Колебания твёрдых тел, имеющих полости, наполненные вращающейся стратифицированной жидкостью», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин».

Актуальность темы диссертации. Рассматриваемая диссертация посвящена разработке методов расчёта динамики твёрдых тел, содержащих вращающуюся неоднородную жидкость, в частности, стратифицированную жидкость. Основное внимание уделено изучению устойчивости стационарного вращения твёрдого тела с цилиндрической полостью, наполненной стратифицированной жидкостью, а также построению областей неустойчивости движения твердого тела с жидкостью. Тема диссертации связана с развитием ракетно-космической техники при разработке космических заправочных станций и космических танкеров. Кроме этого, при создании различных приборов таких как датчики конвекции, поплавковые гироскопы, приходится сталкиваться со случаями неравномерного прогрева жидкости, который оказывает значительное влияние на динамику устройства с жидкостью. Поэтому работа автора, посвященная исследованию устойчивости стационарного вращения твёрдого тела с жидкостью, является актуальной и представляет большой научный и практический интерес.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, списка публикаций и литературы. Полный объём работы составляет 166 страниц машинописного текста, включая 62 рисунков и 14 таблиц. Список литературы состоит из 139 наименований, включая работы диссертанта по теме исследования.

Во введении представлена актуальность темы диссертации, сформулирована цель, поставлены задачи работы, изложена научная новизна, практическая ценность и достоверность полученных результатов, описаны методы исследования, а также приведены данные о структуре и объеме диссертации, апробации работы и публикации.

В главе 1 приведен литературный обзор современного состояния исследований динамики твёрдых тел с полостями, заполненными однородной и неоднородной жидкостями.

В главе 2 исследована устойчивость сферического движения твёрдого тела с неоднородной жидкостью, совершающей однородное вихревое движение. Выведены достаточные условия устойчивости вращения вокруг вертикальной оси динамической симметрии твёрдого тела с неоднородной несжимаемой жидкостью, заполняющей полностью эллипсоидальную полость.

В главе 3 рассмотрены свободные колебания вращающейся стратифицированной жидкости, полностью или частично заполняющей цилиндрический сосуд при малой угловой скорости вращения. Представлены численные расчёты собственных частот свободных колебаний вращающейся стратифицированной жидкости для внутренних волн при полном и частичном заполнении полости и для поверхностных волн при частичном заполнении полости.

В главе 4 исследованы свободные колебания стратифицированной жидкости в цилиндрическом сосуде при большой скорости вращения. Получены собственные функции жидкости и собственные значения свободных колебаний быстровращающейся жидкости, частично заполняющей цилиндрическую полость и полностью заполняющей коаксиальную цилиндрическую полость твёрдого тела.

В главе 5 исследована устойчивость стационарного вращения твёрдого тела с цилиндрической полостью, полностью или частично заполненной стратифицированной жидкостью. Приведены области неустойчивости стационарного вращения твёрдого тела с цилиндрической полостью, заполненной стратифицированной жидкостью.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

Таким образом, диссертация состоит из четырёх логических частей, связанных проблемой устойчивости движения твёрдого тела с неоднородной жидкостью в поле массовых и центробежных сил инерции. Диссертационная работа представляет собой цельное и завершённое исследование, выполненное на высоком научном уровне.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов заключается в следующих результатах:

– разработана методика составления уравнений сферического движения твёрдого тела, в котором имеется эллипсоидальная полость, заполненная неоднородной стратифицированной несжимаемой жидкостью, совершающей однородное вихревое движение;

– получены достаточные условия устойчивости вращения вокруг вертикальной оси динамической симметрии твёрдого тела с эллипсоидальной полостью, полностью заполненной неоднородной несжимаемой жидкостью;

– аналитически определены характеристики собственных колебаний стратифицированной жидкости, частично или полностью заполняющей цилиндрическую полость в твёрдом теле, при малых и больших угловых скоростях вращения;

– численно определены собственные частоты свободных колебаний вращающейся стратифицированной жидкости для внутренних и поверхностных волн.

– установлены области неустойчивости стационарного вращения вокруг неподвижной точки твёрдого тела, имеющего цилиндрическую полость, полностью или частично наполненную стратифицированной жидкостью.

Оценка научной и практической значимости результатов. Разработанная методика позволяет построить область неустойчивости стационарного вращения твёрдого тела с цилиндрической полостью, заполненной стратифицированной жидкостью. Новые численно-аналитические модели вращения твёрдого тела, содержащего стратифицированную жидкость, могут быть использованы при проектировании воздушных танкеров, морских газовозов, а также технологического оборудования в машиностроении.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов, выводов и рекомендаций обеспечена:

– использованием в работе известных методов исследования устойчивости движения механических систем, таких как второй метод Ляпунова и метод Четаева для построения функции Ляпунова;

– реализацией разработанных алгоритмов в программе Maple с проверкой достоверности и сходимости на ряде тестовых задач;

– удовлетворительным согласованием результатов отдельных частей работы с известными аналитическими и численными решениями, полученными в предыдущих работах, связанных с колебаниями твёрдых тел, имеющих полости, наполненные полностью или частично однородной жидкостью.

В качестве наиболее важных результатов диссертации можно отметить следующие положения:

- установлено, что для обеспечения устойчивости стационарных вращений вокруг неподвижной точки, совпадающей с центром масс и геометрическим центром полости, требование неравенства между моментами инерции $(A, B > C)$ и $(A, B < C)$ недостаточно для случая твёрдого тела с неоднородной жидкостью;
- показано, что во вращающейся стратифицированной жидкости при малой и большой угловых скоростях могут возникать различные типы волны: прямые, обратные и стоячие;
- показано, что численные результаты собственных частот свободных колебаний вращающейся жидкости при медленном и быстром вращении возрастают в зависимости от числа стратификации;
- показано, что наличие устойчивой стратификации в жидкости приводит к уменьшению областей неустойчивости вращения твёрдого тела с цилиндрической полостью, полностью или частично заполненной жидкостью.

Публикации и соответствие автореферата диссертационной работе. Диссертация соответствует специальности 1.1.7. «Теоретическая механика, динамика машин», ее содержание и основные результаты в достаточной мере отражены в 7 статьях в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания и вопросы. В целом работа написана аккуратно. Тем не менее, по работе имеются некоторые вопросы и замечания.

1. Автор пишет, что в данной работе термины «стратифицированная», «неоднородная», и «криогенная», жидкость будут использоваться как синонимы. Это утверждение не вполне корректно. Стратифицированной, стандартно, называется жидкость, у которой изменение физических свойств в стационарном состоянии происходит лишь в конкретном направлении. При этом свойства могут изменяться непрерывно либо скачкообразно. Криогенной жидкостью называют вещество, которое может сохранять свое состояние при очень низкой температуре — около минус 273°С. Просто, в диссертации при исследовании динамики вращающейся жидкости и в том, и в другом случае рассматриваются схожие проблемы разделения задачи описания движения тела-оболочки на гидродинамическую и динамическую части.

2. Автор пишет, что при решении задач, представленных в диссертации, применялись различные математические и вычислительные методы: метод Пуанкаре, метод разделения переменных (метод Фурье), метод обобщенных потенциалов Ф.Л. Черноусько и метод Бубнова–Галёркина. Но, основной задачей описания движения тела-оболочки все-таки является начальная задача – задача Коши. Поэтому, лучше было бы упомянуть об использовании различных асимптотических методов, связанных со значениями параметров Рейнольдса, Фруда, Струхалия, величинами

локальных и конвективных производных. Кроме того, использование названия метода, примененного академиком Ф.Л. Черноушко в задаче о движении твердого тела с полостями, содержащими вязкую жидкость, не общепринято.

3. Как замечание к изложению материалов диссертации, необходимо констатировать наличие орфографических и грамматических ошибок, а также стилистических неточностей.

Заключение по диссертации. Приведенные замечания не снижают значимость полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация Ян Наинг У на тему «Колебания твёрдых тел, имеющих полости, заполненные вращающейся стратифицированной жидкостью» является законченной научной работой и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. Автор диссертации, Ян Наинг У, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. – Теоретическая механика, динамика машин.

Отзыв на диссертацию Ян Наинг У составлен д.т.н., проф. Меркурьевым И. В. (1.1.7. – Теоретическая механика, динамика машин). Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» 29 января 2025 г., протокол № 8 от 29.01.2025г.

Заведующий кафедрой робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, д.т.н., проф.



Меркурьев И.В.
29.01.2025

Подпись Меркурьева Игоря Владимировича заверяю



И.В. Меркурьев
д.т.н., проф.
Начальник управления по
работе с персоналом

Н.Г. Савин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1

<https://mpei.ru>, e-mail: universe@mpei.ac.ru

тел.: +7 495 362-70-01, +7 495 362-72-01