

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию 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»

Диссертационная работа Ян Наинг У посвящена задаче о свободных колебаниях вращающегося твёрдого тела с полостью, полностью или частично наполненной стратифицированной вращающейся жидкостью. В работе получены численные результаты расчета собственных частот свободных колебаний стратифицированных жидкостей для внутренних и поверхностных волн при малых и больших угловых скоростях, а также получены оценки влияния интенсивности расслоения жидкости на устойчивость движения твёрдого тела с жидкостью.

Актуальность темы диссертационной работы соискателя обусловлена все более широким использованием сжиженного газа и стратифицированных жидкостей в качестве топлива в ракетно-космической технике. **Практическая значимость** диссертации заключается в том, что результаты проведённых исследований устойчивости вращения твёрдого тела со стратифицированной жидкостью могут быть использованы при проектировании космических аппаратов с эллиптическими или цилиндрическими топливными баками.

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

Первая глава посвящена литературному обзору исследований динамики твёрдых тел с полостями, наполненными жидкостью.

Во второй главе исследована устойчивость движения твёрдого тела с эллипсоидальной полостью, заполненной неоднородной жидкостью, совершающей однородное вихревое движение. Для случая динамически симметричного твёрдого тела с неоднородной жидкостью были получены достаточные условия устойчивости вращения вокруг вертикальной оси в однородном силовом поле.

В третьей главе рассматривается задача исследования свободных колебаний вращающейся стратифицированной жидкости, полностью или частично заполняющей цилиндрический сосуд при малой угловой скорости

вращения. Было получено, что частоты внутренних и поверхностных волн существенно зависят от параметра стратификации жидкости, с помощью численных расчетов были получены зависимости частот колебаний от безразмерного параметра высоты цилиндрического сосуда.

В четвертой главе были проведены аналогичные исследования колебаний неоднородной жидкости в цилиндрическом сосуде, что и в третьей главе, но для случая большой скорости вращения. Проведённое исследование показало, что спектр собственных частот колебаний состоит из двух множеств действительных чисел: двухиндексного множества для поверхностных волн и трёхиндексного для внутренних волн.

Пятая глава посвящена исследованию устойчивости стационарного вращения твёрдого тела с цилиндрической полостью, полностью или частично заполненной стратифицированной жидкостью. Были получены области неустойчивости для трёх рассмотренных случаев движения при полном и частичном заполнении полости: случай вращения твёрдого тела в отсутствие жидкой массы, случай вращения твёрдого тела с однородной жидкостью, когда момент инерции твёрдого тела равен нулю или не равен нулю, и случай вращения твёрдого тела со стратифицированной жидкостью, когда момент инерции твёрдого тела равен нулю или не равен нулю.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи, и **структура диссертации** соответствует заявленной теме, целям и задачам исследования, соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается непротиворечивой методологической основой и взаимосвязанностью выводов. Анализ структуры диссертации, точности математических формулировок, логической последовательности изложения материала показал достаточно высокую степень обоснованности полученных в работе научных положений и выводов. Наиболее существенные результаты работы получены лично соискателем.

В работе были получены следующие **новые научные результаты**. Исследованы уравнения сферического движения твёрдого тела с эллипсоидальной полостью, заполненной неоднородной несжимаемой жидкостью, совершающей однородное вихревое движение. Получены достаточные условия устойчивости вращения вокруг вертикальной оси динамической симметрии твёрдого тела с эллипсоидной полостью, полностью заполненной неоднородной несжимаемой жидкостью. Исследованы собственные колебания стратифицированной жидкости, частично или полностью заполняющей цилиндрическую полость в твёрдом теле при малой

и большой угловых скоростях вращения. Получены численные результаты собственных частот свободных колебаний вращающейся стратифицированной жидкости для внутренних и поверхностных волн. Рассчитаны области неустойчивости стационарного вращения вокруг неподвижной точки твёрдого тела, имеющего цилиндрическую полость, полностью и частично наполненную стратифицированной жидкостью.

Достоверность полученных результатов обеспечивается: 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.

Тематика и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин. Основные результаты диссертации изложены в 15 научных работах. Из них 7 статей опубликованы в научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ и 8 работ – в сборниках материалов и тезисов научных конференций.

Автореферат полностью соответствует диссертационной работе, в полном объеме отражает идеи, результаты и выводы диссертации.

Наряду с общей положительной оценкой выполненной диссертационной работы, следует отметить **ряд замечаний**:

1. При исследовании устойчивости движения твёрдого тела с неоднородной жидкостью во второй главе была построена функция Ляпунова в виде связки первых интегралов в уравнении (2.36), однако, в работе не было показано, что производная по времени построенной функции Ляпунова для консервативной системы равна нулю в силу уравнений движения, что также является достаточным условием согласно теореме Ляпунова об устойчивости.
2. Для поиска собственных частот колебаний неоднородной жидкости в цилиндрическом сосуде диссертант считает заданными законы изменения плотности жидкости в виде линейной функции от координаты вдоль вектора ускорения силы тяжести в случае медленного вращения в третьей главе и в виде логарифмической функции от

относительного расстояния от оси вращения в случае быстрого вращения. В работе отсутствует обоснование выбора этих функций изменения плотности жидкости.

3. В диссертации имеются отдельные опечатки и неточные формулировки, не влияющие на содержание работы.

Выявленные недостатки не снижают общей высокой оценки проведенных научных исследований.

Диссертация Ян Наинг У «Колебания твёрдых тел, имеющих полости, наполненные вращающейся стратифицированной жидкостью» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, написанную понятным научным языком с корректным использованием научной терминологии и содержащую научную и практическую ценность. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Ян Наинг У, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент

старший научный сотрудник
федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук»,
кандидат физико-математических наук,
доцент
Веб-сайт: <https://www.keldysh.ru/>
Электронная почта: danielivanovs@gmail.com
Тел: +7 (963) 729-58-53



Иванов Д.С.

03.02.2025

125047, Москва, Миусская пл., д.4.

Подпись Иванова Данила Сергеевича заверяю

Ученый секретарь
федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук»,
кандидат физико-математических наук



А.А. Давыдов