

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
Национального исследовательского
Томского государственного университета
доктор физико-математических наук

ИВ
«04» «09» 2018 г. Ивонин Иван Варфоломеевич



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Вин Ко Ко** «КОЛЕБАНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ЖИДКОСТИ В ПОЛОСТЯХ НЕПОДВИЖНЫХ И ПОДВИЖНЫХ ТЕЛ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа, плазмы

Диссертация посвящена численному моделированию задачи гидродинамики и механики ограниченного объема жидкости, в том числе, имеющего свободную поверхность. Развитые в диссертации методы и подходы к исследованию возникающих при этом математических проблем безусловно имеют большое теоретическое и практическое значение. Прежде всего, это относится к задачам, возникающим при создании ракетно-космической техники.

Актуальность темы диссертации обусловлена её многочисленными техническими приложениями и постоянно растущими требованиями к их совершенствованию, более глубоким пониманием физического содержания рассматриваемых процессов и, как следствие, обогащением физико-математических моделей и подтверждается многочисленными публикациями в этой области за последние десятилетия.

Формулируемые задачи относятся к различным разделам теоретической механики и гидродинамики. Реализованы попытки решения таких задач в чисто аналитическом виде, а результаты внедрены в практику в виде различных феноменологических моделей. Алгоритм решения сводится к исследованию механической системы состоящей их связанных между собой эквивалентных маятников, т.е. к составлению частотной матрицы состоящей из парциальных частот, присоединенных масс и моментов инерции, а также из гидростатических метацентров приложенных сил. Все эти динамические величины находятся не просто, поскольку приходится решать различные вспомогательные краевые задачи

из теории потенциала. Автор диссертации еще более усложняет задачу тем, что жидкости заполняющие полости в твердом теле считаются у него многослойными. Само по себе обобщение задачи на случай слоистой жидкости является достаточно интересным, так как таит в себе возможность открытия новых динамических эффектов взаимодействия твердого тела и жидкости, типа известного эффекта «мертвой воды» в норвежских фиордах.

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

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации; определены цели и задачи исследований; сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит детальный и квалифицированный библиографический анализ достижений в области динамики слоистых жидкостей в неограниченных и ограниченных областях, а также работ, связанных с движением тел, имеющих полости заполненные жидкостью.

Во второй главе рассматриваются собственные частоты колебаний двухслойных и трехслойных жидкостей в сосудах простой формы, таких как круговой цилиндр и конус с малым углом раствора. Для этих модельных случаев решения вспомогательных краевых задач получаются в аналитической форме в виде конечных формул, содержащих специальные функции, функции Бесселя и функции Лежандра, что дает возможность сразу же получать динамические коэффициенты частотной матрицы и вычислять собственные частоты. Приводятся результаты расчетов, оформленные в виде таблиц и графиков, которые подтверждают эффективность применения предлагаемого метода. Далее, показывается, что для баков произвольной формы, для которых неизвестны точные решения вспомогательных краевых задач, можно использовать и обычный вариационный метод Ритца-Галеркина с записью функционала, учитывающей слоистость жидких масс. Приводится результат тестирования вариационного метода на примерах решения модельных задач. Глава заканчивается описанием методик построения возможных механических маятниковых аналогов колебаний слоистой жидкости в неподвижном баке.

В третьей главе исследуются свободные колебания трехслойной вязкой жидкости, заполняющей сосуд произвольной формы. Движение вязкой жидкости описывается линеаризованным уравнением Навье-Стокса с граничным условием прилипания на смоченной границе, условием равенства касательных и нормальных напряжений и условием равенства скоростей на границах раздела жидкостей.

Для решения сформулированной задачи колебания трехслойной вязкой жидкости рассматриваются как совместные колебания двух парциальных механических систем с последующим определением коэффициента затухания каждой системы с использованием метода пограничного слоя.

В таком приближении предполагается что вихрь не может диффундировать внутрь жидкости и поэтому данный метод не определяет силы зависящие от

истории движения. Но он вполне способен давать оценку коэффициента затухания колебаний для каждой пары жидкостей разделенной границей раздела, и тем самым позволяет вносить диссипативные члены в общие уравнения движения и в их имитационные маятниковые аналоги. Приводится сравнительный анализ коэффициентов затухания полученных в диссертации с результатами других авторов.

В четвертой главе приводится линейная система дифференциальных уравнений движения подвижных твердых тел с идеальными жидкостями, полученная с удержанием первых основных тонов парциальных частот. Эта система уравнений описывает движения от приложенных внешних сил и моментов. В качестве примера ее использования рассматривается задача о параметрическом резонансе, возникающем при вертикальных колебаниях цилиндрического сосуда с трехслойной жидкостью. Для этой задачи получается система двух слабо связанных между собой уравнений Матье. В результате решения системы находится область неустойчивости решения. Рассматривается также задача о колебаниях трехслойной жидкости в цилиндрическом баке, установленном на платформе, которая совершает горизонтальное движение с заданной частотой. В этом случае строятся резонансные характеристики.

В этой же главе решается довольно экзотическая задача теоретической механики — об устойчивости малых колебаний твердого тела в виде круглого полуцилиндра катающегося по плоскости, на котором закреплен невесомый цилиндрический бак, полностью заполненный тремя несмешивающимися жидкостями. Для устойчивости такой механической системы нужно поставить требование о мнимости корней характеристического уравнения. В результате получены области устойчивости в параметрах, характеризующих инерционные свойства твердого тела и жидкости.

В пятой главе диссертации описывается методика проведения экспериментального исследования колебаний слоистой жидкости в неподвижном и подвижном баках. Эта глава имеет важное значение в диссертации, так как без экспериментального подтверждения трудно оценивать правильность теоретических формул. Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов, полученными в предыдущих главах, показало удовлетворительное согласование.

Основные результаты диссертации, **обладающие научной новизной**, заключаются в следующем:

- получены зависимости инерционных характеристик тел с несмешивающимися жидкостями, показывающие отличие от соответствующих характеристик тел с однородной жидкостью;
- разработаны механические модели колебаний трехслойных жидких идеальных и вязких сред.

Теоретическая значимость диссертации определяется полученными новыми знаниями, способствующими более глубокому пониманию динамики тел с полостями, наполненными жидкостью.

Практическая ценность достигнутых результатов состоит в том, что они могут быть использованы для количественной оценки поведения таких сложных механических систем как твердое тело + многослойная жидкость, в частности, при проектировании транспортных средств различного назначения.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена корректностью постановок задач, их строгой математической обоснованностью, использованием апробированных методов решения и согласованностью результатов с экспериментальными данными и решениями тестовых задач.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, результаты исследований широко обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает результаты исследований.

Замечания. В диссертации практически отсутствует информация о используемых численных алгоритмах. Например, подробности численной реализации вариационного метода во второй главе диссертации не описываются. Указывается только, что координатные функции можно строить с помощью метода конечных элементов, без традиционной информации для вычислителей о сходимости, количестве элементов и т.п.

Представляется целесообразным обобщение сформулированных моделей и алгоритмов их реализации в виде вычислительного кода, как средства математического моделирования динамики тел с полостями, наполненными жидкостью.

Диссертационная работа Вин Ко Ко «Колебания многослойной жидкости в полостях неподвижных и подвижных тел», является самостоятельным, логически завершенным исследованием, в котором содержится решение задачи, имеющей значение для развития физико-математических основ динамики слоистых жидкостей в неподвижных и подвижных емкостях, а также механики тел с полостями, наполненными жидкостью. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа, плазмы», а ее автор Вин Ко Ко заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составлен заведующим кафедрой прикладной газовой динамики и горения, доктором физико-математических наук, профессором Шрагером

Геннадием Рафаиловичем на основании положительного заключения совместного семинара лаборатории динамики полета НИИ прикладной математики и механики ТГУ, кафедры прикладной газовой динамики и горения физико-технического факультета и кафедры динамики полета физико-технического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета (протокол № 1 от 13.07.2018 г.).

Заведующий кафедрой прикладной
газовой динамики и горения, д.ф.-м.н.,
профессор Шрагер Геннадий Рафаилович



Директор НИИ ПММ ТГУ
Профессор кафедры прикладной аэромеханики,
Профессор, д.ф.-м.н. Глазунов Анатолий Алексеевич



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»; почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36; web-сайт: www.tsu.ru, телефон: (3822)529-585, e-mail: rector@tsu.ru.