

ОТЗЫВ

**официального оппонента к. ф.-м. н. Жаворонка Сергея Игоревича
на диссертационную работу Ай Мин Вин
«РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
СО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТЬЮ»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 01.02.06 –
Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры**

Диссертационная работа Ай Мин Вин «Разработка методов расчета динамики твердых тел со стратифицированной жидкостью» является созданием приближенных математических моделей и описанием динамического поведения элементов конструкций, представляющих собой емкости с криогенной жидкостью при учете влияния градиента температуры.

Актуальность темы диссертационной работы.

Конструкции, подобные рассматриваемым в диссертационной работе, могут применяться в системах различного назначения: топливных баках как наземного, так и космического базирования, поплавковых гироскопах и т. д. В перечисленных приложениях основной интерес для инженера представляет динамическое поведение конструкции, причем в случае космической системы рассматриваемая конструкция является незакрепленной. Получение количественных результатов исследования динамического поведения механических систем возможно на основе численных методов. Тем не менее, количественный анализ не исчерпывает потребностей инженерной практики и должен опираться на качественное исследование явления методами аналитической механики. Таким образом, выбранное направление работы следует считать актуальным.

Степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций.

Основные положения диссертации обоснованы с опорой на апробированные методы исследования, включая и численные.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность полученных результатов может быть обоснована результатами сравнения полученных автором решений с известными аналитическими решениями идентичных задач, а также с численными результатами, полученными в более общей постановке.

Новизна полученных результатов.

Новизна результатов, полученных автором и составляющих основу диссертационной работы, связана с исследованием динамики твердого тела, содержащего стратифицированную жидкость, и анализом различий динамического поведения тела со стратифицированной вследствие неравномерного нагрева жидкостью от тела с однородной жидкостью.

Теоретическая и практическая значимость результатов.

Результаты работы в части исследования влияния стратификации жидкости, заполняющей незакрепленный резервуар, на устойчивость его установившегося движения представляют теоретический интерес и могут быть использованы при проектировании конструкций, содержащих неравномерно нагретую жидкость.

Содержание диссертации.

Диссертация объемом 166 машинописных листов состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, содержащего 152 пункта. Текст диссертации сопровождается 45 рисунками и 20 таблицами.

В первой главе диссертации приведен аналитический обзор публикаций по теме исследования, а также краткое описание перспективных практических приложений, связанных с разработкой крупногабаритных космических систем, определены цели и задачи диссертации.

Во второй главе приведено теоретическое описание малых движений криогенной идеальной жидкости в неподвижной емкости. Осуществлен переход от общей системы, включающей уравнения Навье-Стокса,

неразрывности, теплового баланса и определяющих уравнений, к линеаризованной системе, описывающей возмущенное движение. При условиях идеальности жидкости, адиабатичности ее движения, несжимаемости по давлению и соленидальности поля скоростей при достаточно малой частоте плавучести данная система состоит из трех уравнений. В случае постоянной частоты плавучести осуществлен переход к единственному скалярному уравнению относительно давления. Рассмотрены малые колебания криогенной жидкости с постоянной частотой плавучести при частичном заполнении резервуара произвольного поперечного сечения и продольной стратификации жидкости. Получены асимптотические оценки для поверхностных волн, записаны замкнутые выражения для квадратов частот внутренних волн. Изучены некоторые примеры для цилиндрической емкости. Показано, что при влиянии постоянной стратификации на частоты поверхностных волн растет с уменьшением глубины жидкости. Построены приближенные методы учета стратификации жидкости, описываемой произвольным законом, на основе конечно-элементного решения спектральной задачи.

В третьей главе диссертации исследовано возмущенное движение абсолютно твердого тела с внутренними полостями, заполненными стратифицированной жидкостью. Получены некоторые результаты для частных случаев воздействия на тело импульсивных сил и для начального участка траектории возмущенного движения в квазипотенциальном приближении. Построена система уравнений движения относительно квазипотенциалов. Рассмотрен пример плоского движения цилиндрического бака, полностью или частично заполненного криогенной жидкостью, при описании стратификации экспоненциальным законом, и вычислены приведенные инерционные характеристики твердого тела с полостью, заполненной стратифицированной жидкостью, при квазипотенциальном характере движения.

В четвертой главе рассмотрены малые колебания твердых тел со стратифицированной жидкостью на примерах сферического маятника с цилиндрической частично заполненной полостью, эллипсоидальной полости, совершающей вращательное движение, а также собственные колебания вращающегося тела с жидкостью. Предложен подход к определению приведенных динамических характеристик твердых тел с жидкостью, вычислен присоединенный момент инерции жидкости для физического маятника с полостью, и найдена зависимость присоединенного момента инерции стратифицированной жидкости от формы полости, соотношения частоты плавучести и частоты колебаний полости, содержащей жидкость. Исследована задача об устойчивости вращения твердого тела с жидкостью и определены области неустойчивости движения. Показано, что устойчивость стратификации жидкости приводит к уменьшению области неустойчивости движения твердого тела с полностью заполненной внутренней полостью.

В заключении сформулированы основные результаты работы и следующие из них качественные выводы.

Отмеченные достоинства диссертационной работы.

Несомненным достоинством является концепция работы, ориентированной на качественный анализ влияния стратификации жидкости на динамику твердых тел с внутренними полостями, содержащими такую жидкость. Развитие приближенных моделей, допускающих качественный анализ поведения механических систем, представляется абсолютно необходимым как для грамотного проектирования, так и для аккуратного применения численных методов и программных комплексов, в том числе и стандартизованных.

Автором продемонстрирована достаточно высокая квалификация как в области аналитической динамики, механики жидкости, асимптотических методов, так и в области численных методов и их приложений. Особо следует отметить способность автора к разумному комбинированию аналитических и численных методов.

Отмеченные недостатки диссертационной работы.

К недостаткам диссертационной работы целесообразно отнести следующее.

1. Аналитический обзор литературы выглядит несколько перегруженным общей информацией о возможных приложениях криогенных систем в космонавтике, что в диссертации, в качестве основных объектов исследования не рассматривающей конкретные конструкции, скорее всего, излишне. В то же время обзор литературы по динамике твердых тел с жидкостью и по динамике стратифицированных жидкостей носит характер перечисления, содержит необязательный иллюстративный материал, тогда как анализ существующих методов и подходов к решению поставленной задачи представлен чрезмерно скупой.
2. В обзорной части работы отсутствует какая-либо информация о работах, посвященных влиянию деформаций твердого тела с жидкостью на динамику системы «тело – жидкость». Такое влияние может оказаться существенным, тем более применительно к тонкостенным системам, какими являются баки космических аппаратов. Данное замечание может рассматриваться как рекомендация, тем не менее, пренебрежение влиянием деформациями тела, содержащего жидкость, требует обоснования, по крайней мере, на базе анализа существующих результатов в данной области исследования.
3. Как диссертация, так и автореферат содержат заметное количество опечаток.

Перечисленные замечания не препятствуют положительной оценке диссертационной работы.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

Содержание диссертационной работы в целом адекватно отражено в автореферате и в достаточной мере отражено в основных публикациях.

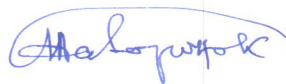
**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
«Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14.**

Все основные результаты получены автором лично и опубликованы в рекомендуемых ВАК РФ рецензируемых периодических изданиях. Текст диссертационной работы содержит ссылки на первоисточники используемых материалов. Работа содержит предложения по практическому применению полученных результатов. Таким образом, диссертация удовлетворяет пунктам 10, 11 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

Вывод. Диссертация Ай Мин Вин «Разработка методов расчета динамики твердых тел со стратифицированной жидкостью» является законченной оригинальной научно-квалификационной работой, посвященной решению практически важной технической проблемы, выполненной на достаточно высоком уровне, и удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Ай Мин Вин, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент

Жаворонок Сергей Игоревич,
кандидат физико-математических наук,
125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д.7,
(495) 946-1777, e-mail: zhavor71@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт прикладной механики РАН,
старший научный сотрудник
отдела механики адаптивных и композиционных
материалов и систем



С. И. Жаворонок

Подпись С. И. Жаворонка заверяю:

Ученый секретарь ИПРИМ РАН
кандидат физико-математических наук

