

## ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ

Шклярчука Фёдора Николаевича

на диссертационную работу Юй Чжаокая на тему «Колебания жидкости в двухсвязных полостях в условиях микрогравитации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.1.7. "Теоретическая механика, динамика машин" и 1.1.9. "Механика жидкости, газа и плазмы".

Необходимость увеличения массы и объёма полезной нагрузки транспортных систем выведения приводит к увеличению объёма топливных баков верхней ступени ракет-носителей или разгонных блоков, и применению баков в виде двухсвязных полостей, имеющих форму тел вращения. Поведение жидкости в двухсвязных сосудах в условиях микрогравитации исследовано недостаточно полно и является объектом исследования работы.

**Практическая ценность** результатов работы состоит в том, что:

- 1) полученные формы равновесной свободной поверхности могут быть использованы при проектировании заборных устройств топливных баков космических аппаратов, так как для решения подобных задач необходимо учитывать положение равновесия жидкости.
- 2) определённые динамические характеристики колебаний жидкости в слабых гравитационных полях могут быть использованы при анализе динамики и устойчивости движения верхних ступеней ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«07» 09 2023г.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов обеспечивается:

- 1) реализацией разработанного алгоритма на программе MATLAB с проверкой достоверности и сходимости на ряде тестовых задач;
- 2) удовлетворительным согласованием результатов отдельных частей работы с известными данными других авторов, как аналитическими, численными, так и экспериментальными.

**Автореферат** в полной мере отражает содержание диссертации. Основные результаты отражены в 5 публикациях в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ, и докладывались на ряде Международных и Российских конференций, в том числе на Королёвских и Гагаринских чтениях.

В **обзоре литературы** отмечены развитие и актуальность темы диссертации. В начале 60-х годов прошлого века первые исследования о поведении жидкости в слабых гравитационных полях, стимулированные потребностями космической техники, провели Н.Н. Моисеев, В.В. Румянцев, А.А. Петров, Ф.Л. Черноусько, В.А. Самсонов, Г.Н. Микишев, Г.А. Чурилов и др. Одновременно в Америке под руководством Абрамсона (Abramson H.N.) занимались подобными задачами гидромеханики.

При исследовании **задачи статики** капиллярной жидкости в двухсвязных полостях соискателем разработан алгоритм на основе метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Исследованы формы и положения равновесия жидкости в полостях в зависимости от числа Бонда, угла смачивания, объёма жидкости и геометрии сосуда.

Третья глава посвящена исследованию **собственных колебаний** жидкости ограниченного объёма в условиях микрогравитации. Приведена вариационная формулировка задачи динамики и разработан алгоритм на

основе метода конечных элементов решения задачи на определение собственных частот и форм колебаний капиллярной жидкости.

В данной работе **механическим аналогом** колебаний капиллярной жидкости является маятник со спиральной пружиной. Для малых колебаний капиллярной жидкости в круговом цилиндре с углом смачивания  $90^\circ$  полученные выражения для массы маятника и длины стержня совпадают с результатами К.С. Колесникова при больших силах тяготения, что доказывает правильность разработанной механической модели соискателем. Все компоненты жидкого топлива обладают в той или иной степени вязкостью. Соискатель объясняет рассогласование экспериментальных и теоретических результатов декремента колебаний жидкости в баках с точки зрения **диссипации энергии** вблизи линии трёхфазного контакта.

В результате чтения диссертации есть несколько **замечаний**:

- 1) Эффективность разработанного алгоритма на основе метода Рунге-Кутты зависит от выбора начальных значений предварительно неизвестных констант в системе дифференциальных уравнений задачи статики.
- 2) Не указан диапазон чисел Бонда, в котором поверхностное натяжение существенно влияет на поведение жидкости.
- 3) В работе исследованы только осесимметричные задачи гидромеханики невесомости.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку работы и носят характер пожеланий для дальнейших исследований соискателя.


## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертационная работа Юй Чжаокая на тему «Колебания жидкости в двухсвязных полостях в условиях микрогравитации» представляет собой



законченное научное исследование и соответствует Положению о порядке присуждения учёных степеней, утвержденному постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. Автор диссертации, Юй Чжаокай, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.1.7. "Теоретическая механика, динамика машин" и 1.1.9. "Механика жидкости, газа и плазмы".

Главный научный сотрудник Института прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН), доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ



Шклярчук Фёдор Николаевич

03.07.2023г

E-mail: [shklyarchuk@list.ru](mailto:shklyarchuk@list.ru)

Телефон: +7 495 946-18-06

Адрес: г. Москва, Ленинградский просп., д. 7, стр. 1., 125040

**Подпись Шклярчука Фёдора Николаевича заверяю.**

Ученый секретарь Института прикладной механики  
Российской академии наук (ИПРИМ РАН)



Карнет Юлия Николаевна



С отзвном ознакомлен 07.09.2023 г