



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное  
государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский  
авиационный институт  
(национальный  
исследовательский  
университет)» МАИ  
ИИИЛ, Электронное ш. д. 4,  
п. Виченца, ГСП-3, 125993  
Факс: 8-499-158-29-77, Тел.: 8-499-158-43-33  
E-mail: mai@mai.ru

29.12.2016 № 603-10-11  
на № 115041 от 15.12.2016  
01-6215-697

## «УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научной работе  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский авиационный  
институт (национальный  
исследовательский университет)»  
д.т.н., профессор



Ю.А. Равикович

« 29 » 12 2016 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Гончарова Дмитрия Александровича** «Разработка экспериментально-аналитического метода расчета колебаний двухслойной жидкости в сосуде с проницаемой перегородкой», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация Гончарова Д.А. посвящена аналитическим и экспериментальным исследованиям колебаний жидкости со свободной поверхностью в сосуде, разделенном проницаемой перегородкой. Актуальность данной темы обусловлена работами по созданию перспективных разгонных блоков со сложными внутрибаковыми структурами и необходимостью учета и моделирования гидродинамических взаимодействий компонент топлив с такими структурами.

В работе получены аналитические решения ряда краевых задач, что само по себе является ценным научным результатом. Следует отметить важность экспериментальных гидродинамических исследований.

Научная значимость работы заключается в выявлении аналитических закономерностей для колебаний двухслойной жидкости в сосуде с диафрагмой, а кроме того в формулировании гидравлической модели учета сопротивления проницаемой перегородки в рамках линейной теории в случае идеальной жидкости.

Достоверность полученных результатов подтверждается, проведенными экспериментальными исследованиями.

Практическая значимость работы обусловлена возможностью применения полученных результатов в различных технических приложениях, в частности при проектировании ракет-носителей, космических аппаратов, или разгонных блоков. При работе жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в указанных технических системах возможно наступление автоколебательного режима. Определенные в работе коэффициенты демпфирования позволяют оценить границы автоколебательных режимов еще на этапе проектирования.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- Получены аналитические решения задач о малых осесимметричных колебаниях двухслойной жидкости в цилиндрической полости.
- Разработана модель колебаний жидкости в сосуде с проницаемой перегородкой. Диссипативные эффекты, обусловленные влиянием перегородки, учитывается посредством приведенного коэффициента сопротивления. Определена зависимость последнего от частоты и коэффициента демпфирования системы в целом.
- Разработан экспериментальный стенд, позволяющий создавать осесимметричные колебания жидкости в сосудах и регистрировать их собственные частоты.
- Экспериментально определены собственные частоты и коэффициенты демпфирования для малых симметричных колебаний жидкости в недеформируемой цилиндрической полости с демпфирующей перегородкой

и без перегородки и затем путем расчета найден коэффициент гидравлического сопротивления перегородки.

Указанные результаты являются новыми и оригинальными и в полной мере отражены в публикациях автора.

### **Краткая характеристика диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации составляет 121 страницу, из них – 108 страниц текста, включая 42 рисунка. Библиография включает 133 наименования на 16 страницах.

Во **введении** обосновывается актуальность и новизна исследования, формулируется цель диссертации, дается краткое содержание работы, перечисляются результаты, и излагается их практическое применение.

**Первая глава** диссертации представляет собой обзор литературы по рассматриваемой проблеме. Описываются основные теоретические и экспериментальные методы исследования динамики жидкости со свободной поверхностью в сосудах, приводятся существующие гидродинамические модели энергетических систем космических летательных аппаратов.

Во **второй главе** рассматривается ряд модельных задач об осесимметричных колебаниях двухслойной жидкости в цилиндрическом баке. Приводится решение задачи о малых осесимметричных колебаниях двухслойной жидкости совместно с разделяющей непроницаемой мембраной с различными условиями на свободной поверхности. Выполняется построение механического аналога для учета сил поверхностного натяжения. В частности, для получения точного решения задачи о малых колебаниях двухслойной жидкости совместно с непроницаемой перегородкой будем искать решение уравнения колебаний упругой мембраны, моделирующей разделитель, с учетом гидродинамического давления жидкости.

В **третьей главе** рассматривается ряд модельных задач, в которых учитывается проницаемость перегородки, посредством введения

приведенного коэффициента сопротивления. Формулируются и решаются различные краевые задачи для проницаемой перегородки.

В частности, для случая плоского, недеформируемого днища и жесткой, недеформируемой проницаемой перегородки установлен вид зависимости приведенного коэффициента сопротивления перегородки от величины коэффициента затухания.

**В четвертой главе** изложена методика проведения эксперимента, приведено детальное описание экспериментальной установки, измерительного комплекса и результаты. По найденным частотам собственных колебаний определены коэффициенты затухания.

В заключении формулируются **основные выводы и результаты** работы.

По диссертации имеются следующие **замечания**:

1. В работе отсутствует информация, что представляет собой «проницаемый разделитель» (абсолютно податливая или абсолютно жесткая диафрагма; она крепится к стенке бака или является свободной). В действительности это должна быть тонкая диафрагма в виде проницаемой мембраны или пластинки, которая описывается соответствующими уравнениями и граничными условиями.

2. Коэффициент гидравлического сопротивления проницаемой диафрагмы в работе определяется косвенно по результатам измерений коэффициентов демпфирования системы в целом (бак с реальной жидкостью, опорное устройство, вибратор) без диафрагмы и с диафрагмой. Этот коэффициент можно было бы определить проще и точнее без влияния других факторов на основе экспериментальной зависимости перепада давления на диафрагме от относительной скорости протекания через неё жидкости, аналогично как это делается для проницаемой парашютной ткани. Например – установив элемент проницаемой диафрагмы в трубопроводе с протекающей жидкостью (в квазистатическом приближении) или с жидкостью, совершающей продольные колебания.

3. В цилиндрическом баке с абсолютно жесткими стенками и днищем, который использовался в эксперименте (Рис. 4.1), малые колебания жидкости при продольном возбуждении бака не возникают. Колебания свободной поверхности жидкости по форме (4.5) могут возникнуть только как нелинейные колебания при параметрическом резонансе. Средняя величина продольной скорости жидкости по этой форме в любом поперечном сечении равна нулю. Кроме того, коэффициент приведенной массы (4.9) в данном случае должен быть равен нулю ( $m^0 = 0$ ).

Можно пожелать, чтобы эти замечания были учтены в дальнейшей работе.

Результаты диссертации опубликованы в 17-ти работах, 6 из которых – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК.

Материалы диссертации прошли апробацию на 9 российских и международных конференциях в период с 2012 – 2016 гг.

Основные разделы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации:**

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных разработках Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Центрального научно-исследовательского института машиностроения, Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Научно-исследовательского института механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Института прикладной механики РАН.

#### **Заключение**

Считаем, что рассматриваемая работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Гончаров Дмитрий Александрович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

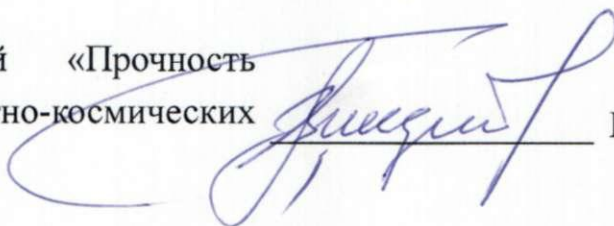
Настоящий отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций» 29 декабря 2016 г., протокол № 3

Профессор кафедры «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций», д.ф.-м.н., профессор



Т.В. Гришанина

Заведующий кафедрой «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций», к.т.н.



В.А. Гнездилов

факультет «Аэрокосмический»  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)»

адрес: Волоколамское шоссе, д. 4, г.  
Москва, А-80, ГСП-3, 125993

тел. +7 499 158-42-92, +7 499 158-49-80

Электронная почта: kaf603@mai.ru

Адрес в сети интернет: www.mai.ru

И.О. декана факультета  
«Аэрокосмический»



О.В. Тушавина