

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора физико-математических наук Стуровой Изольды Викторовны на диссертацию Гончарова Дмитрия Александровича «Разработка экспериментально-аналитического метода расчета колебаний двухслойной жидкости в сосуде с проницаемой перегородкой», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Гончарова Д.А. посвящена теоретическому и экспериментальному изучению свободных колебаний жидкости в ограниченном объеме. Эта проблема гидродинамики является классической и имеет уже более чем вековую историю. Исследования поведения жидкости в ограниченном объеме обусловлены важным прикладным значением, существенно возросшим в последние десятилетия в связи с развитием ракетно-космической и авиационной техники, а также морского и наземного транспорта. Увеличение габаритов замкнутых объемов, занятых жидкостью, и стремление уменьшить нежелательные колебания привело к необходимости учета гидроупругих эффектов.

В представленной диссертации изучены свободные колебания жидкости в вертикальном цилиндрическом сосуде кругового сечения при наличии упругих или пористых тонких перегородок. Эти исследования являются актуальными, так как помогают объяснить движение в топливных баках космических летательных аппаратов при наличии упругих и пористых конструктивных устройств.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

При формулировании математических постановок задач автор опирается на физические законы, общепринятые в гидродинамике, теории упругости и теории колебаний, приемлемые упрощающие предположения и аппарат математического анализа. При выполнении экспериментальных исследований использованы известные методы, апробированное оборудование и современные регистрирующие средства.

### **Научная новизна полученных результатов**

Получены аналитические решения ряда задач о малых осесимметричных колебаниях идеальной несжимаемой жидкости в цилиндрическом баке при наличии упругих элементов. Разработана модель колебаний жидкости в

баке с жесткой проницаемой перегородкой. Разработан экспериментальный стенд, позволяющий создавать осесимметричные движения жидкости в сосудах и регистрировать собственные частоты колебаний.

### **Анализ содержания диссертации**

Работа объемом 121 страницу включает введение, 4 главы основного текста, заключение, список использованных источников из 133 наименований.

Во *введении* обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи диссертации, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, отражен личный вклад соискателя.

В *первой главе* приводится обширный обзор литературы по теоретическим и экспериментальным методам исследования задач гидроупругости. Список используемой литературы отражает знакомство соискателя с наиболее важными публикациями, представленными как в российских, так и в зарубежных изданиях. Добавлю еще две недавно вышедшие монографии по рассматриваемой теме:

Faltinsen O.M., Timokha A.N. Sloshing, Cambridge Univ. Press, 2009, 577 p.

Sahoo T. Mathematical Techniques for Wave Interaction with Flexible Structures, CRC Press, Boca Raton, USA, 2012, 242 p.

Дан обзор современных конструкций баков космических летательных аппаратов с проницаемыми перегородками и отмечена недостаточная изученность вопроса о колебаниях жидкости в таких баках.

*Вторая* глава посвящена решению ряда задач о волновом движении двух слоев жидкости разной плотности в баке с твердым дном и непроницаемым упругим разделителем, который является безинерционной мембраной, жестко закрепленной по контуру. Исследованы колебания жидкости при различных условиях на верхней границе: твердая крышка, свободная поверхность в невесомой жидкости и свободная поверхность в весоной жидкости с учетом поверхностного натяжения. Для частного случая бака, заполненного однородной жидкостью и ограниченного снизу мембраной, построена модель колебательного движения жидкости с использованием механического аналога.

В *третьей* главе построены решения задач о волновых движениях однородной жидкости в баке с жестким проницаемым разделителем. Предполагается, что сопротивление разделителя линейно зависит от скорости частиц жидкости. Показано, что в случае невесомой жидкости и

твердого дна колебания жидкости являются затухающими. Определена связь коэффициента затухания и сопротивления разделителя для весомой жидкости со свободной поверхностью. В случае невесомой жидкости со свободной поверхностью исследованы колебания жидкости для пологой сферической упругой оболочки в качестве днища. Исследованы параметрические колебания свободной поверхности в баке без разделителя с упругим днищем в виде мембраны.

*Четвертая* глава посвящена описанию экспериментальной установки для определения первого тона осесимметричных колебаний в баке с разделителем. В качестве рабочей жидкости использовались вода и этанол. Цилиндрический бак с разделителем из пеноникеля установлен на вибростенде, который совершает вертикальные колебания с заданной частотой. Определены амплитуды и фазы вынужденных колебаний жидкости в зависимости от частоты, как при наличии разделителя, так и без него. Используя связь между аналитической зависимостью коэффициента затухания и его экспериментальным значением, вычислен коэффициент сопротивления для данного разделителя.

В *заключении* сформулированы основные результаты и выводы работы.

### **Наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**

Аналитические решения задач о малых свободных осесимметричных колебаниях в цилиндрическом баке:

- двухслойной жидкости с упругим разделителем в виде непроницаемой мембраны между слоями при наличии сил поверхностного натяжения;
- однородной жидкости с проницаемым жестким разделителем и пологой сферической оболочкой в качестве днища.

Создание экспериментальной установки и измерительного комплекса для определения коэффициента затухания колебаний в баке с проницаемой перегородкой.

### **Замечания к диссертации**

- 1) На стр. 57 в Выводах по 2-ой главе указано «Исследованы малые колебания двухслойной жидкости с учетом проницаемой недеформируемой перегородки, получено теоретическое значение для коэффициента затухания». Однако эта задача рассмотрена только в главе 3. Аналогичное несоответствие имеется и в автореферате на стр. 11.

- 2) Пояснения к различным кривым на рис. 3.5 в диссертации и рис. 6 в автореферате не понятны.
- 3) Подписи к рис. 8 и рис. 10 в автореферате совпадают.
- 4) В тексте диссертации нет ссылок на рис. 4.10-4.21, а в автореферате - на рис. 8-14.
- 5) Для рис. 4.16, 4.17 (в автореферате рис. 13, 14) не ясно, какими параметрами отличаются две приведенные кривые на каждом рисунке.
- 6) На стр. 65 текст «... в случае равенства нулю потенциала скоростей на свободной поверхности жидкости (что может реализовываться при закрытии бака крышкой, плавающей на поверхности жидкости)...» не верен, так как равенство нулю потенциала скоростей имеет место на свободной поверхности в случае невесомой жидкости, а при закрытии бака крышкой, плавающей на поверхности жидкости, выполняется условие непротекания, означающее, что вертикальная скорость жидкости (нормальная производная от потенциала) равна нулю.
- 7) На стр. 74 указано, что «днище считается упругим, плоским, в виде мембраны», тогда как граничное условие (3.64) дано для твердого дна.
- 8) Имеются недостатки в оформлении работы и опечатки, как в тексте, так и в формулах на стр. 11, 16, 17, 19, 23, 31, 33, 35, 36, 39, 40-42, 45-47, 49, 50, 52-57, 59, 62-64, 66-68, 72, 74, 75, 81, 83-85, 90, 93, 95, 96, 108.
- 9) Некоторые ссылки в *Списке литературы* приведены дважды, например, [5] и [119], [20] и [53], [21] и [52]. Статья [32] является английским переводом статьи [30]. В статье [9] указаны не все авторы.

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат отражает основные положения, сформулированные в диссертации.

### **Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011**

Оформление автореферата и диссертации соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

### **Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати**

Результаты, представленные в диссертации, докладывались на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации