

**Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Институт водных проблем Российской  
академии наук  
(ИВП РАН)**

119333 г. Москва, ул. Губкина, 3  
тел.: 8-499-135-54-56  
факс: 8-499-135-54-15  
E-mail: [iwapr@iwp.ru](mailto:iwapr@iwp.ru)  
<http://www.iwp.ru>  
ОКПО 02698884, ОГРН 1027739512305  
ИНН/КПП 7701003690/773601001

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ИВП РАН  
член-корреспондент РАН  
В.И. Данилов-Данильян



16.06.2016 № 13202-2171/1752  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Аунг Наинг Со** «Волны Фарадея в горизонтально подвижном сосуде и сосуде с локальными особенностями дна и стенок», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Аунга Наинга Со посвящена экспериментальному исследованию колебаний жидкости со свободной поверхностью в закрепленных и подвижных сосудах, имеющих геометрические особенности на боковых стенках в виде пластин-демпферов и локальных возвышений на дне. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений, т.к. на сегодняшний день совершенно недостаточно изучены процессы взаимодействия колеблющейся жидкости и подвижного сосуда, механизмы подавления волнового движения жидкости пластинами-демпферами и локальными особенностями рельефа дна. А экспериментальные работы всегда имеют особую ценность. Полученные автором результаты имеют важное теоретическое и прикладное значения.

Научная значимость работы состоит в обнаружении новых закономерностей в динамике стоячих волн в подвижном в горизонтальном направлении сосуде (дополнительная степень свободы в системе) и в резервуаре с локальными особенностями дна и стенок. Полученные экспериментальные результаты сравнивались в работе с существующими гидродинамическими моделями, но они безусловно станут хорошим стимулом для развития последующих гидродинамических теорий.

Эффективное использование в работе волн Фарадея как способа генерации стоячих поверхностных волн – существенный успех автора в области экспериментальной гидродинамики.



Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных результатов при инженерных разработках конструктивных элементов для подавления колебаний топлива в баках ракет и жидких углеводородов в танках при транспортировке нефтепродуктов. Установленные закономерности взаимодействия длинных поверхностных волн в прямоугольном сосуде с препятствиями на дне несомненно интересны для океанологов и специалистов по геофизической гидродинамике при исследованиях сейш в естественных водоемах.

#### Научная новизна работы:

- впервые в условиях лабораторного эксперимента реализовано параметрическое возбуждение стационарных гравитационных поверхностных волн в прямоугольном сосуде при сохранении его горизонтальной степени свободы. Проведено сравнение опытных данных с имеющейся теоретической моделью горизонтальных колебаний сосуда с жидкостью при наличии на ее поверхности свободных волн.

- исследовано влияние поперечных пластин-демпферов, установленных под углом к боковым стенкам, на параметры стоячих поверхностных волн. Методами трассерной визуализации волнового течения показано, что демпфирующее действие вертикальных пластин (установленных в узле стоячей волны) обусловлено переносом волновой энергии в систему трехмерных нестационарных вихрей. Получена величина критического перекрытия сосуда, отвечающая полному подавлению волнового движения жидкости, что является очень важным практическим результатом.

- изучено влияние локальных особенностей на дне резервуара на форму и частоты длинных поверхностных волн. Для интерпретации результатов эксперимента приводится аналитическая модель сейш. Показано, что возвышения на дне, их положения, приводят к существенному изменению как частот волн, так и форм свободной поверхности для исследуемых мод. При подходящем выборе положения одиночного возвышения dna можно добиться существенного подавления стоячих поверхностных волн.

Перечисленные результаты являются новыми, ясно изложены в диссертации и в полной мере отражены в публикациях автора.

#### **Краткая характеристика диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 глав с краткими заключениями по каждой главе, основных выводов, списка литературы, содержащего 90 наименований, из них 40 - из иностранных источников. Полный объем диссертации составляет 109 машинописных страниц, включает 58 рисунков.

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

**Первая глава** диссертации представляет обзор литературы по рассматриваемой проблеме. Описываются основные результаты теории параметрического возбуждения поверхностных волн, дается описание экспериментальной установки, использованной при лабораторном моделировании поверхностных волн Фарадея как стоячих волн, возбуждаемых при вертикальных колебаниях сосуда с жидкостью.

**Вторая глава** посвящена экспериментальному исследованию поверхностных волн Фарадея в неподвижном и подвижном в горизонтальном направлении прямоугольных сосудах. Приводится описание эксперимента для изучения волновых движений жидкости в прямоугольном сосуде. Генерируется первая волновая мода стоячих волн на свободной поверхности воды различной глубины в условиях резонанса Фарадея, когда частота возбуждаемых волн в два раза меньше частоты вертикальных колебаний резервуара.

Здесь впервые автором экспериментально реализована ситуация с параметрическим возбуждением волн Фарадея в подвижном по горизонтали сосуде. Исследован частотный сдвиг при совместном волновом движении жидкости и горизонтальных колебаниях сосуда. Полученные экспериментальные результаты находятся в хорошем согласии с теоретической моделью Л.Н. Сретенского.

В **третьей главе** описываются результаты экспериментов по исследованию влияния поперечных пластин-демпферов, установленных под углом к боковым стенкам сосуда, на параметры стоячих поверхностных волн в вертикально колеблющемся прямоугольном сосуде.

Наблюдения показали, что более высокое демпфирование по сравнению с вязкой диссипацией обусловлено срывающимися с кромок пластин вихрями. Трассерная визуализация волнового течения позволила увидеть, что возникающие вихревые структуры захватывают всю толщу жидкости. Необходимо отметить, что зафиксированная в экспериментах реструктуризация вихревой динамики течения в поле стоячих поверхностных волн в вертикально колеблющемся прямоугольном сосуде с демпферами, получена автором впервые.

Экспериментально определена величина критического перекрытия сосуда, отвечающая полному подавлению волнового движения, найдены значения коэффициента затухания стоячих волн при различных угловых положениях демпфирующих пластин. Получен важный результат - коэффициент затухания не зависит от способа ориентации пластин, а определяется эффективным перекрытием поперечного сечения сосуда.

**В четвертой главе** экспериментально исследовано влияние особенностей рельефа дна на длинные поверхностные волны при параметрическом резонансе Фарадея. Для интерпретации результатов эксперимента использовалась гидродинамическая модель сейш в рамках идеальной жидкости. Для нахождения спектра собственных значений задачи Штурма-Лиувилля применен численный метод ускоренной сходимости Акуленко-Нестерова.

Теоретически и экспериментально показано, что локальные возвышения на горизонтальном и наклонном дне приводят к существенному изменению частот волн и форм свободной поверхности для исследуемых мод. Получен интересный результат - при подходящем выборе положения одиночного возвышения на наклонном дне можно добиться существенного подавления стоячих поверхностных волн вплоть до отсутствия их генерации.

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

В целом, диссертация представляет собой логически построенное изложение полученных автором экспериментальных результатов и их сравнения с имеющимися гидродинамическими моделями.

**Отметим некоторые недостатки работы:**

1. Не совсем точным является утверждение автора об отсутствии работ, в которых рассматривались бы стоячие волны в удлиненных бассейнах с отдельными возвышениями или понижениями дна, в частности, упомянут Байкал (стр. 6). На самом деле таких работ достаточно много. Об этом можно посмотреть в книге П. ЛеБлон, Л. Майсек. Волны в океане. Ч.1 (1981). По сейшам Байкала недавно опубликована в ФАО довольно основательная работа - Смирнов С.В. и др. Сейшевые колебания Байкала. (2014), причем она указана в списке литературы диссертации, но видимо диссертант недостаточно глубоко с ней ознакомился.
2. Нечетко сформулированы положения, выносимые на защиту (стр. 7). Сформулированы три положения и все они формулируются как «исследование». Само исследование не может быть предметом защиты. Предметом защиты должны быть результаты этих исследований. Аналогичные замечания и к формулировке основных результатов и выводов в конце диссертации (стр. 99).
3. Формула для косинус-образного возвышения рельефа дна написана, по-видимому, с опечаткой (стр. 96). По этой формуле рельеф дна «вылезает» в атмосферу, т.е. дает остров! Да и по размерности она не выдерживает критики. По поводу косинус-образного возвышения рельефа дна хотелось бы заметить, что чем был обусловлен выбор такой формы рельефа дна, остается неясным,

т.к. в реальных водных объектах как раз наоборот – дно имеет форму котловины. Для таких водных объектов в работе Зырянов В.Н. Сейши подо льдом. (Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 2, с. 259 – 271) вычислен спектр сейшевых колебаний и получены собственные функции в виде полиномов Лежандра. Вот с таким рельефом дна эксперимент был бы намного интереснее !

4. Один из выводов главы 4 гласит, что получен новый результат, показывающий, что при подходящем выборе одиночного возвышения на наклонном дне можно добиться существенного подавления стоячих волн. На стр. 94 сказано, что при расстоянии от левой стенки до возвышения меньше 35 см, волны вообще не возбуждаются. Следовательно, можно сделать вывод, что существенное подавление на самом деле означает полное отсутствие волн. Но это противоречит осцилляционной теореме Штурма, согласно которой задача (4.7) при принятых условиях на рельеф дна, всегда имеет действительный дискретный спектр, причем все его значения простые. Это означает, что теоретически волны должны быть при любом положении одиночного возвышения !

Разумеется, приведенные замечания не умаляют научных достоинств диссертации и не снижают значимости полученных результатов. Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Хотелось бы особо отметить ее вклад в гидродинамику именно с экспериментальной стороны, что редко происходит в последнее время. Чаще всего сейчас физический эксперимент заменяется численным !

Материалы диссертации прошли апробацию на 11 российских и международных конференциях и школах в период 2012 - 2016 гг.

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

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

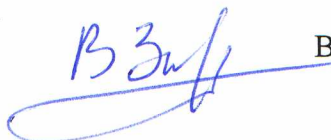
Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных разработках Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского, Научно-исследовательского института механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Института водных проблем РАН, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова.

## Заключение

Считаем, что данная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Аунг Наинг Со, безусловно, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы. Считаем также целесообразным рекомендовать научному коллективу, в котором выполнялась данная работа, развивать дальше это перспективное направление.

Отзыв на диссертацию был рассмотрен на семинаре лаборатории гидродинамики ИВП РАН «Математическая физика гидросферы» под руководством профессора В.Н.Зырянова и одобрен на заседании Ученого совета ИВП РАН (протокол № 6 от 14 июня 2016 года).

Заведующий лабораторией гидродинамики  
Института водных проблем РАН  
доктор физико-математических наук  
профессор  
тел. 84991350213,  
e-mail: [zyryanov@iwp.ru](mailto:zyryanov@iwp.ru)

  
В. Н. Зырянов

Главный научный сотрудник  
лаборатории гидродинамики  
Института водных проблем РАН  
доктор физико-математических наук  
тел. 84991350534  
e-mail: [sokolovskiy@iwp.ru](mailto:sokolovskiy@iwp.ru)

  
М. А. Соколовский

