

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Аунга Наинга 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

Работа Аунга Наинга Со посвящена экспериментальному изучению волновых движений однородной жидкости в прямоугольном сосуде при переменных вертикальных нагрузках. Исследовано влияние локальных геометрических особенностей дна и стенок на характеристики стоячих поверхностных волн, а также изучен эффект горизонтальной степени свободы сосуда с жидкостью на параметрически возбуждаемые волны. Тема исследования представляется в достаточной степени актуальной для фундаментальной гидродинамики и ряда технических приложений из-за отсутствия экспериментов по связанным колебаниям сосуда с жидкостью. В качестве технических приложений укажем оценки рисков, вызванных колебаниями жидкостей при их транспортировке, например, в танках ледокольных судов или в цистернах на железнодорожном или грузовом транспорте. Рассмотрение в лабораторных условиях волновых движений жидкости в сосудах с дополнительными пластинами на стенках и выступами на дне может использоваться для выявления оптимальных режимов демпфирования волн.

Диссертационная работа А.Н. Со изложена на 109 страницах машинописного текста, включает введение, обзор литературы, описание экспериментальной методики, а также результаты и их обсуждение, которые разделены на три отдельные главы, основные результаты и выводы. Список цитируемой литературы включает 90 источников. Работа содержит 58 рисунков и 6 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель, задачи и научная новизна исследования.

В обзоре (§1.1, гл. 1) представлен ряд малоисследованных гидродинамических задач по теме диссертации. Рассматриваются работы, посвященные колебаниям однородной жидкости в прямоугольном сосуде, и выполнен анализ имеющихся результатов. Во второй части главы 1 приводится описание экспериментальной установки, используемой для

параметрического возбуждения колебаний жидкости – поверхностных волн Фарадея. Обсуждаются основные результаты теоретической модели, используемой при постановке лабораторных опытов, в которых параметрический резонанс в жидкости применялся как способ возбуждения стоячих волн.

Изложению и обсуждению результатов диссертации посвящены три главы, изложенные на 87 страницах, что указывает на большой объем проделанной диссертантом работы.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию горизонтальных колебаний прямоугольного сосуда с жидкостью, вызванных первой модой стоячих поверхностных гравитационных волн Фарадея. Проведено сравнение данных экспериментов по связанным горизонтальным колебаниям сосуда со случаем параметрического возбуждения волн Фарадея в неподвижном в горизонтальном направлении сосуде. Полученные опытные данные сопоставляются с результатами имеющихся теоретических моделей. Исследованы также параметрические колебания физического маятника в виде однородного стального цилиндра как механического аналога волн Фарадея в случае дополнительной горизонтальной степени свободы точки подвеса маятника.

В третьей главе приведены результаты экспериментов по исследованию влияния поперечных пластин-демпферов, расположенных как нормально, так и под углом к направлению потока, на параметры стоячих поверхностных волн в вертикально колеблющемся прямоугольном сосуде. Методами трассерной визуализации показано, что демпфирующее действие пластин (установленных в узле стоячей волны) обусловлено переносом волновой энергии в систему трехмерных нестационарных вихрей по всей глубине жидкости. Научный и практический интерес представляют результаты исследования картины волновых течений на свободной поверхности жидкости при наличии пластин-демпферов в сосуде. Проведены количественные оценки эффективности действия пластин по изменению вида и частотному смещению резонансных зависимостей параметрически возбуждаемых волн. Получена универсальная зависимость декремента волны от относительного перекрытия центрального поперечного сечения сосуда.

Четвертая глава работы посвящена лабораторным экспериментам по оценке влияния топографии дна на частоты и формы стоячих поверхностных волн в прямоугольном сосуде, колеблющемся в вертикальном направлении. Детально рассмотрен эффект одного и двух возвышений на горизонтальном дне и линейной отмели. Экспериментально исследовано смещение резонансной зависимости при изменении положения препятствия на линейном наклонном дне. Описано влияние косинусо-образной формы дна на формы поверхностных волн и на резонансные характеристики. Для интерпретации данных эксперимента использована основанная на методе ускоренной сходимости численно-аналитическая модель Сретенского для описания сейшевых колебаний для случая резкого возвышения дна.

Представленные в главах 2 – 4 выводы базируются на полученных автором экспериментальных результатах и их сопоставлении с теоретическими оценками, полностью обоснованы и не вызывают сомнения в их достоверности.

По тексту диссертации возникли следующие вопросы и замечания:

Не указано, как изменяется резонансная частота под действием демпфирующих пластин и каков именно характер ее смещения (глава 3, стр. 83). Это смещение линейное или более сложное? Можно ли полученные выводы использовать для других конфигураций демпфирующих пластин?

Возможно ли применить результаты главы 4 по исследованию влияния топографии дна на характеристики установившихся волн Фарадея в лабораторных моделях к задачам, связанным с волновыми движениями в реальных водоемах?

В работе практически ничего не сказано о возбуждении колебаний высших ( $>2$ го) порядков.

Однако сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и являются скорее пожеланиями по дальнейшему планированию исследований.

Научная значимость работы состоит в том, что она является по существу первым законченным экспериментальным исследованием стационарных гравитационных поверхностных волн в прямоугольном

сосуде при сохранении его горизонтальной степени свободы. Установленные в диссертации закономерности взаимодействия длинных поверхностных волн с пластинами-демпферами и препятствиями на дне являются основой для проверки существующих и разработки более адекватных гидродинамических моделей, например, в приближении мелкой воды.

Диссертационная работа хорошо оформлена и ясно изложена. Объем выполненных исследований достаточен для диссертации на соискание степени кандидата физико-математических наук, а их уровень можно оценивать по самым высоким критериям. Результаты работы исчерпывающе представлены в ведущих научных журналах, содержит новую научную информацию. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Актуальность и важность поставленных и решенных в диссертации задач позволяют сделать заключение, что работа «Волны Фарадея в горизонтально подвижном сосуде и сосуде с локальными особенностями дна и стенок» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Аунг Наинг Со заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

#### Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,  
профессор, главный научный сотрудник  
ФИЦ Институт прикладной математики  
им. М.В.Келдыша РАН (125047, Москва, Миусская пл., д.4)



Т.Г. Елизарова

тел.: 89166368675 e-mail: [telizar@mail.ru](mailto:telizar@mail.ru)

30.08.2016

Подпись Т.Г. Елизаровой удостоверяю:  
Ученый секретарь ФИЦ ИГМ РАН  
к.ф.-м.н.



А.И. Маслов