

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук Чаплиной Татьяны Олеговны на тему:
«Перенос вещества в вихревых и волновых течениях в однокомпонентных и много-
компонентных средах» по специальности 01.02.0.5 – Механика жидкости, газа и плаз-
мы.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учрежде-
нии науки Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук
(ИПМех РАН).

Актуальность. Диссертация Т.О. Чаплиной «Перенос вещества в вихревых и волновых те-
чениях в однокомпонентных и многокомпонентных средах» является экспериментальным
исследованием в лабораторных условиях структуры вихревых и вторичных волновых дви-
жений, закономерностей переноса маркеров на свободной поверхности вращающейся жид-
кой среды и в её толще, динамики растекания нефтяных пятен. Актуальность темы диссер-
тации определяется востребованностью исследований процессов переноса различных суб-
станций в природных вихрях в водных объектах. К этим процессам относятся - перенос мор-
скими и океаническими вихрями твердого мусора, в результате чего в Мировом океане фор-
мируются огромные скопления мусора в виде «мусорных островов», разливов нефти, верти-
кальный обмен в вихрях, вращательные движения льда в озерах и морях. В реальных усло-
виях, как правило, бывает затруднительно выявить причину того или иного явления из-за
наложения других воздействий. В лабораторных условиях можно поставить эксперимент,
который позволит изучить данное явление без затуманивания его другими воздействиями.
В этом плане ценность экспериментальных работ очень высока !

Цель диссертационной работы – экспериментальное исследование и создание теоретическо-
го описания динамики и структуры многофазных вихревых течений и характера переноса
трех типов маркеров: твердотельных (льда, пластика), несмешивающихся с водой (нефть,
масло, дизельное топливо) и растворимых (анилиновые красители, уранил).

Диссертация Т.О. Чаплиной состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литерату-
ры.

Во введении даётся обзор основных результатов, достигнутых к настоящему времени в ми-
ровой науке при изучении поставленных проблем, формулируются цель и задачи работы,
обосновываются актуальность диссертационного исследования, достоверность полученных

результатов, теоретическая и практическая значимость результатов. Приводится список научных конференций и семинаров, на которых проходила апробация работы.

В первой главе формулируется основная научная проблема, описывается экспериментальная установка, на которой проводились лабораторные эксперименты. В лабораторной установке вихревое движение возбуждается вращающимся активатором на дне сосуда, в результате чего в сосуде генерируется составной вихрь в виде вихревого тора. Приводятся необходимые количественные данные, характеризующие параметры экспериментальных режимов формирующихся в установке течений. Там же приводится общая модель вихревой каверны и целый ряд характерных безразмерных комплексов, определяющих кинематику и динамику явления. По экспериментальным наблюдениям выделяются типичные формы свободной поверхности вихревой воронки в однокомпонентной среде в зависимости от частоты вращения активатора, его гладкости или ребристости, от глубины невозмущённого слоя жидкости. Все результаты представлены в количественном виде в форме таблиц и графиков измеренных параметров вихревой структуры. Представлено аналитическое описание формы поверхности в рамках модели нулевого приближения, которое даёт хорошее согласие с экспериментальными результатами. В заключительной части главы автор описывает характерные волновые структуры, возникающие на поверхности вихревой воронки в виде спиральных волн.

Во второй главе изучается процесс переноса в составном вихре изначально компактной области примеси в окружающую незагрязнённую жидкость. Проводится визуализация и качественный анализ течения вблизи поверхности активатора. Установлено, что характерные особенности вихревого течения задаются в области пограничного слоя на диске и затем переносятся во всю область, занимаемую жидкостью. Показано, что типы спирального движения жидких частиц на поверхности и вблизи диска являются одинаковыми. Теоретический анализ возникающих спиральных движений частиц показал, что спирали вблизи активатора и на поверхности жидкости являются логарифмическими.

В третьей главе исследовались двухкомпонентные среды, одной из которых обязательно была вода. В случае двухкомпонентной среды (вода и масло, вода и нефть и т.п.) на основе законов сохранения масс веществ, условий на углах контакта трёх сред (вода-воздух-масло) и уравнений движения получены выражения для форм всех границ, а именно, вода-воздух, вода-масло, масло-воздух.

Для обработки большого количества видеоматериала автором была разработана специальная методика автоматизации обработки видеоданных на компьютере, что позволило

довести до числа все полученные в экспериментах режимы движения двухкомпонентной среды, построить аппроксимирующие кривые, провести количественное сравнение численных расчётов с экспериментальными данными.

В четвёртой главе приводятся результаты исследования движения макроскопических маркеров различной формы, помещённых на свободную поверхность вихревой воронки с целью визуализации вихревых течений и измерения характеристик таких течений на основе анализа перемещений маркеров. Для выполнения поставленной задачи была разработана соответствующая аппаратура и методика измерений, а также проведена автоматизация обработки больших массивов измеренных данных. Эксперименты проводились как в однокомпонентной, так и в многокомпонентных средах. Наблюдения показали, что при помещении на периферию течения маркеры всех типов начинают смещаться к центру вихревой воронки, вращаясь в направлении, противоположном направлению вращения жидкости в вихре, а после пересечения границы твердотельного вращения направление движения маркера изменяется и становится совпадающим с направлением вращения среды. Представленная упрощённая аналитическая модель движения маркера по поверхности вихря с небольшой частотой вращения, когда реализуется малая величина тангенса угла наклона свободной поверхности к горизонту, позволила теоретически описать наблюдаемое явление.

В заключительной части главы представлены результаты экспериментальных исследований собственных свойств маркеров, изготовленных из льда с целью дальнейшего моделирования вихревого переноса в океане не только скоплений мусора, но и ледяных полей. Было обнаружено самопроизвольное вращение ледяных маркеров в форме диска, как на твёрдой поверхности, так и на свободной поверхности жидкости. Представлены количественные результаты измерений характеристик перемещения и вращения ледяных маркеров, для этих экспериментальных данных предложены интерполяционные формулы динамики изменения массы ледяных маркеров.

В пятой главе представлены результаты лабораторного моделирования разлива нефтепродуктов по поверхности моря. Экспериментально исследована эволюция разливов по поверхности воды пятен различных загрязняющих веществ, включая фиксацию формы пятна, скорость его растекания, перемещения, возникновения эмульсии этого загрязнения в воде. Представлена аналитическая модель равновесной формы загрязняющего вещества и получены её численные решения для различных реальных веществ, растекающихся по поверхностям природных водоёмов. Проведён обзор основных методов очистки поверхностей от нефтепродуктов и предложен запатентованный метод их адсорбции шерстяными волокнами.

Приведены количественные результаты, подтверждающие эффективность предложенных автором способов очистки. Также предложены устройства, позволяющие проводить утилизацию адсорбированных нефтепродуктов и добиваться повторного использования адсорбента, обеспечивающих экономичность и экологическую безопасность внедрения предложенных способов очистки.

Каждая глава диссертации завершается выводами, что существенно упрощает задачу выделения основных результатов.

Достоинства диссертации. В диссертации получено много новых и важных результатов. Особо хотелось бы выделить следующие достижения автора:

- разработана методика экспериментальных исследований динамики формирования, структуры установившего течения и картины переноса вещества в вихревых и волновых течениях в составном вихре, детально исследована структура вихревой каверны;
- построена теоретическая модель вихревой каверны, показывающая, что траектории жидких частиц как вблизи поверхности вихря, так и относительно поверхности диска, представляют собой трехмерные логарифмические спирали, по которым происходит течение от периферии к центру вихря;
- получены количественные и качественные результаты экспериментальных исследований динамики и структуры многофазных вихревых течений и характера переноса трех типов маркеров: твердотельных (льда, пластика), несмешивающихся с водой (нефть, масло, дизель) и растворимых (анилиновые красители, уранил);
- проведены экспериментальные исследования тонкой структуры поверхностей раздела нефтяное тело – вода и жидкость (вода или несмешивающиеся углеводороды) – воздух в составном вихре, включая режим начала формирования эмульсий;
- экспериментально показано, как из компактного нефтяного пятна возникают во вращающейся жидкости рукава, причем, что интересно, вперед и назад относительно направления азимутальной скорости в вихре. Это может служить объяснением наблюдаемого в морях феномена «нефтяных жгутов», возникающих при распаде разливов нефти.

Общее заключение по диссертации. Диссертация написана ясным языком, снабжена обширным иллюстративным материалом и таблицами данных физических характеристик

процессов. Это дает хорошую основу для развития аналитических моделей вихревых воронок в жидкой среде. Следуя п.9 Положения ВАК, диссертацию можно охарактеризовать, как фундаментальное исследование, в котором наряду с экспериментальными работами представлены теоретические модели, которые в совокупности с экспериментами являются, безусловно, научным достижением. Кроме того, даны научно-обоснованные технические решения по снижению рисков развития разливов нефти в природных условиях, что послужит вкладом в решение важной народнохозяйственной и экологической проблемы.

Основные результаты диссертации опубликованы более, чем в 50 научных работах, в том числе в 34 научных статьях в рецензируемых журналах, включённых ВАК в перечень ведущих периодических изданий. Результаты диссертационного исследования были доложены на многочисленных конференциях и научных семинарах, опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Имеются патенты на технологические решения, представленные в диссертации.

По диссертации имеются замечания:

1. Нигде в главах 1- 4, в которых изучаются эффекты переноса в составном вихре, нет графика радиального распределения азимутальных скоростей. Этот график позволил бы сразу увидеть границу перемены знака вращения твердотельного маркера. И вообще, необходимо было посчитать ротор векторного поля скоростей течений на поверхности жидкости. Именно от него должно зависеть направление относительного вращения маркера. Кстати, на рис. 4.1.4, на графиках нет смены знака направления вращения маркера.
2. На стр. 35 диссертации вводятся критические частоты, отделяющие режимы движения жидкости в составном вихре, но далее это нигде не используется.
3. Иногда пишутся уравнения, которые не используются. Например, на стр. 38 написано уравнение для движения жидкости в составном вихре с учетом ускорения Кориолиса, т.е. во вращающейся системе координат, но далее все уравнения пишутся в инерциальной системе координат, т.е. без ускорения Кориолиса.
4. Цилиндрическое ядро составного вихря, которое хорошо визуализируется на рисунке 2.4.2, это что такое ? Похоже на колонку Тейлора ! Какая связь радиуса этого ядра с радиусом активатора ?

5. Циклоническое вращение ледяных маркеров объясняется закруткой возникающего при таянии льда нисходящего конвективного течения. Но это не очень убедительно ! А что если взять не лед, а твердотельный цилиндр, охладить его до нулевой температуры и положить на поверхность воды, будет вращаться ? Судя по утверждению автора на стр. 182, где сказано, что в этом случае результирующая сила будет равна нулю, такой маркер вращаться не должен ! Но в этом случае также возникнет нисходящая конвекция из-за охлаждения жидкости холодным маркером. Итак, имеем там и там конвекцию, а результат должен быть разный. Надо было бы такой эксперимент диссертанту провести !
6. В главе 5 выведены формулы, описывающие стационарную форму нефтяного пятна на поверхности жидкости. Во-первых, стационарной формы нефтяного пятна не существует, оно все время эволюционирует, во-вторых, зачем это, если далее это никак не используется. Кроме того, таких работ по математическому описанию формы нефтяного пятна достаточно много, но ни с какими другими авторами сравнение не проводится. И совсем сбоку в этой главе стоит «овечья шерсть» ! Безусловно, это интересно и важно для практики, но диссертация-то как называется ?
7. Лабораторные эксперименты с растеканием нефти по поверхности воды мало имеют общего с реальной картиной растекания нефти в море. В природных условиях при растекании нефти чрезвычайно важную роль играет ветер и, соответственно, процесс выветривания нефти. С учетом процесса выветривания диаграмма Хоулта сильно трансформируется. Кроме того, нефть – неньютонова жидкость и в процессе растекания она не диффундирует, а сбивается в жгуты, что, собственно, и показано автором экспериментально.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Т.О. Чаплиной. Диссертация Т.О. Чаплиной является законченным исследованием, в котором решен ряд важных научных проблем, изучен целый класс явлений, связанных с переносом различных субстанций в вихревых движениях жидкости, предложены экспериментально обоснованные технологические решения по ликвидации разливов нефти, внедрение которых позволит реально снизить экологические риски от них.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в глобальных моделях океана для описания переноса примесей, твёрдых и жидких загрязнений вихревыми

образованиями в Мировом океане. Полученные экспериментальные данные будут служить хорошей основой для создания теоретических моделей вихревых течений сложной структуры.

Физико-математический уровень решенных в диссертации научных проблем полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационное исследование Чаплиной Татьяны Олеговны «Перенос вещества в вихревых и волновых течениях в однокомпонентных и многокомпонентных средах» является завершённой научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности полученных результатов соответствует требованиям п.7 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а ее автор, Татьяна Олеговна Чаплина, заслуживает присуждения ей учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

профессор, заведующий лабораторией гидродинамики

Института водных проблем РАН

« 28 » сентября 2020 г.

 /Зырянов Валерий Николаевич/

Контактные данные:

тел.: (916) 159-51-35, e-mail: v.n.zyryanov@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом


защищена диссертация: 11.00.08 — океанология

Адрес места работы:

119333, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д. 3,

Институт водных проблем РАН, лаборатория гидродинамики

Тел.: (499) 135-54-56; e-mail: tina@iwp.ru

Подпись руки 
заверяю: 
зав. канцелярией 
ИВП РАН

