

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах.

2. Лектор

к. ф.-м. н., доцент Маков Юрий Николаевич, кафедра акустики, yuri_makov@mail.ru, тел. +7(495)939-29-43.

3. Аннотация дисциплины.

Являясь фактическим продолжением читаемого в предшествующем семестре курса «Динамика сплошных сред», данная учебная дисциплина обеспечивает магистров систематическими и углубленными знаниями в конкретном разделе механики сплошных сред – динамике жидкостей (гидродинамике), а также дает необходимые сведения относительно акусто-гидродинамических явлений, к которым, прежде всего, относится генерация звука течениями и вихрями, а также эффекты акустического воздействия на динамические процессы в жидкостях. Материал курса, посвященный гидродинамике, отражает все основные ее разделы: динамику идеальной и вязкой жидкости, потенциальные и вихревые движения, теорию погранслоя, анализ основных типов гидродинамических волн, элементы теории гидродинамической неустойчивости и турбулентности, с акцентом на задачи физической и прикладной акустики. Это является хорошей основой и для изучения второй составляющей данного курса – акусто-гидродинамических явлений, и других самостоятельных учебных курсов программы обучения магистров в области физической и прикладной акустики.

4. Цели освоения дисциплины.

Освоение студентами дисциплины «Динамика сплошной среды» предполагает достижение основных целей: а) получение систематических знаний в области гидродинамики с необходимостью их использования в нескольких базовых учебных дисциплинах по программе «физическая и прикладная акустика», а также при решении научных проблем в профессиональной деятельности научного работника, б) соединение знаний в области гидродинамики и акустики для анализа комплексных проблем при проявлении и анализе акусто-гидродинамических явлений.

5. Задачи дисциплины.

Задачами дисциплины «Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах» являются: а) подготовка современного специалиста, обладающего комплексными знаниями в «смежных» областях – в гидродинамике и акустике жидких сред, что позволит использовать «синтезированные» методы для анализа проблем, лежащих на стыке этих двух областей, б) расширить научный кругозор выпускников магистратуры на проблематику двух больших научных областей и на междисциплинарные проблемы.

6. Компетенции.

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

М-ОНК-2; М-ИК-2.

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

М-ОНК-2; М-ИК-2; М-ИК-3; М-ПК-1; М-ПК-2; М-ПК-3; М-ПК-5; М-ПК-6; М-СПК-11.

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать теорию и методы решения задач в области гидродинамики (это повысит фундаментальность образования магистров), а также получить необходимые знания по междисциплинарной проблематике касающейся акусто-гидродинамических явлений. Это позволит сформировать специалиста с универсальными научными знаниями и навыками в решении современных задач в указанных областях.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр				Всего
	1	2	3	4	
Общая трудоёмкость, акад. часов		72			72
Аудиторная работа:		34			34
Лекции, акад. часов		17			17
Семинары, акад. часов		17			17
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. часов		38			38
Вид промежуточной аттестации (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)		экс.			экс.

№ раздела, название раздела	№ темы	Название темы	Структура и содержание дисциплины				Форма текущего контроля успеваемости
			Содержание темы	Аудиторная нагрузка, отводимая на лекционный материал темы, ак.ч.	Названия семинаров по теме. Аудиторная нагрузка, отводимая на каждый семинар темы, ак.ч.	Самостоятельная работа: название темы самостоятельной работы; трудоемкость темы, ак.ч.	
1. Содержание курса; теория идеальной жидкости.	1.	Характеристика лекц. курса. Модель сплошной среды в приложении к жидкостям. Уравнения гидродинамики. Идеальная жидкость.	<i>Аннотация курса, его цели и задачи. Основные принципы и методы механики сплошных сред (МСС) в проекции на текучие жидкие среды, связь с акустикой. Полная система гидродинамики, ее различные формы записи, частные случаи. Основные уравнения и соотношения акустики жидких сред. Краткий обзор основных акусто-гидродинамических эффектов.</i>	1 ак. ч.	<i>Механика идеальной текучей среды, система уравнений (в том числе, в форме Громеки-Лэмба), модель несжимаемой жидкости. Основные кинематические характеристики (линии и трубки тока, траектории, линии отмеченных частиц, функция тока). Приближение баротропной жидкости.</i> 1 ак. ч.	Изучение лекционного материала. Самостоятельное решение задач. 2 ак. ч.	ДЗ, ОП
	2.	Методы анализа динамики идеальной жидкости	<i>Интеграл Бернулли и его использование для анализа конкретных движений. Парадокс Даламбера. Элементы газодинамики (введение в теорию сжимаемого потока), сопло Лавалья.</i>	2 ак. ч.	<i>Рассмотрение примеров и задач на динамику идеальной жидкости.</i> 2 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Выполнение домашнего задания по решению задач. 4 ак. ч.	
	3.	Потенциальные и вихревые движения.	<i>Движения жидкости двух типов: потенциальные и вихревые. Теорема Томсона о циркуляции как обоснование разделения движений на два типа.</i>	1 ак. ч.	<i>Интеграл Коши-Лагранжа. Уравнения для потенциального движения баротропной жидкости.</i> 1 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Выполнение домашнего задания по решению задач. 2 ак. ч.	ДЗ, ОП
	4.	Теория вихревых движений	<i>Вихревые течения Уравнения Фридмана и Гельмгольца. Постановка задачи о «склейке» вихревых и потенциальных течений.</i>	2 ак. ч.	<i>Примеры точно решаемых задач о «склейке» вихревых и потенциальных течений. Теория торнадо. Торнадо как экстремальное погодное явление (дискуссия).</i> 2 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Самостоятельное решение домашних задач (потенциальное и вихревое движение). 5 ак. ч.	
2. Излучение звука вихрями и течениями	1.	Генерация звука вихрями.	<i>Излучение звука локализованными вихрями (одиночными или несколькими) в слабосжимаемых средах.</i>	1 ак. ч.	<i>Анализ эффектов влияния акустического излучения на процессы вихреобразования (при обтекании, в различных технических устройствах и т.п.)</i> 1 ак. ч.	Освоение лекционного материала, анализ акусто-гидродинамических процессов взаимовлияния. 2 ак. ч.	ДЗ, ОП
	2.	Течения и акустическое излучение.	<i>Взаимодействие акустических волн с течениями жидкости. Генерация звука сдвиговыми течениями</i>	1 ак. ч.	<i>Характерные задачи о взаимодействии течений жидкости с акустическим излучением.</i> 1 ак. ч.	Проработка лекционного материала. Самостоятельное решение домашних задач. 4 ак. ч.	
3. Неидеальная жидкость	1.	Динамика неидеальной жидкости	<i>. Точные решения в динамике неидеальной жидкости. Диффузия вихрей.</i>	1 ак. ч.	<i>Обсуждение моделей неидеальной жидкости в гемодинамике.</i> 1 ак. ч.	Освоение лекционного материала, решение задач 2 ак. ч.	ДЗ, ОП
	2.	Теория погранслоя	<i>Теория погранслоя. Вывод уравнения Прандтля методом квазиоптики. Точное решение задачи Блазиуса. Понятие об автомодельных решениях нелинейных уравнений.</i>	2 ак. ч.	<i>Решение задач по теме «Динамика вязкой жидкости. Погранслоя»</i> 2 ак. ч.	Изучение лекционного материала. Самостоятельное решение задач. 4 ак. ч.	

4. Гидродинамические волны	1.	Гидродинамические волны. Модели геофизической гидродинамики	<i>Волны в геофизической гидродинамике. Приближения геофизической гидродинамики (приближение Ω-плоскости, традиционное приближение, приближение β-плоскости). Система линеаризованных уравнений геофизической гидродинамики.</i>	1 ак. ч.	<i>Вывод уравнений геофизической гидродинамики 1 ак. ч.</i>	Изучение лекционного материала. Решение задач. 3 ак. ч.	ДЗ, ОП
	2.	Анализ гидродинамических волн	<i>Различные типы гидродинамических волн (поверхностные, внутренние, инерционные, планетарные(Россби)), их специфика.</i>	2 ак. ч.	<i>Исследование дисперсионных уравнений различных типов волн. 2 ак.ч.</i>	Изучение лекционного материала. Решение задач. 4 ак. ч.	ДЗ, ОП
5. Поверхностное излучение	1.	Генерация излучения поверхностным сверхзвуковым источником.	<i>Генерация излучения на поверхности воды движущимся со сверхзвуковой скоростью точечным источником. Аналог черенковского излучения.</i>	1 ак. ч.	<i>Решение задачи о сверхзвуковом источнике. 1 ак. ч.</i>	Изучение лекционного материала. Решение задач. 2 ак. ч.	ДЗ, ОП
6. Гидродин. неустойчивость и турбулентность	1.	Гидродинамические неустойчивости. Элементы теории турбулентности.	<i>Основные типы гидродинамических неустойчивостей. Постановка и схема исследования стационарных течений на устойчивость/неустойчивость в линейной постановке. Метод нормальных мод. Ламинарные и турбулентные течения. Возможные сценарии перехода к турбулентности. Однородная изотропная турбулентность.</i>	2 ак. ч.	<i>Вывод закона Обухова-Колмогорова. 2 ак. ч.</i>	Изучение лекционного материала. Решение задач. 4 ак. ч.	ДЗ, ОП

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости.

1. Домашнее задание (ДЗ);
2. Контрольная работа (КР);
3. Опрос (ОП)

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Обязательная дисциплина.
2. Вариативная часть, блок профессиональной подготовки, дисциплина магистерской программы.
3. Курс связан с рядом дисциплин, преподаваемых на физическом факультете. К началу изучения курса студент должен владеть знаниями общего курса физики, курса теоретической механики, знать материал курса «методы математической физики». Главной основой данного курса являются предшествующие магистерские курсы «Динамика сплошных сред» и «Физическая акустика»
 - 3.1. Дисциплины, которые должны быть изучены для начала освоения данной дисциплины: общая физика, математическая физика, бакалаврский курс механики сплошных сред, введение в акустику, предшествующие магистерские курсы «Динамика сплошных сред» и «Физическая акустика».
 - 3.2. Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: дисциплины «Физическое материаловедение», «Современные проблемы акустики», научно-исследовательская работа магистров, курсовые работы, подготовка дипломной работы.

10. Образовательные технологии

Отдельные разделы курса имеют иллюстративное сопровождение в виде компьютерных презентаций. Лекции читаются с использованием современного мультимедийного и проекционного оборудования.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Примеры домашних заданий по дисциплине «Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах»:

1. Провести вывод уравнения неразрывности на основе рассмотрения фиксированного контрольного объема сплошной среды (как альтернатива рассмотренному на лекции выводу относительно «жидкого объема»).
2. Исходя из выражения для определяющего соотношения (для тензора напряжений) применительно к неидеальной жидкости и используя уравнение движения «абстрактной» сплошной среды, вывести уравнение Навье-Стокса.
3. Аналогично рассмотренному на лекции анализу дисперсионного уравнения для внутренних волн проанализировать полученное на лекции дисперсионное уравнение для инерционных волн.
4. Аналогично рассчитанному на лекции профилю скорости течения Пуазейля, найти профиль скорости обобщенного течения Пуазейля-Куэтта.

Примеры контрольных вопросов и задач для контрольных работ по дисциплине «Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах»:

1. Написать уравнение Навье-Стокса в проекции на ту или иную координатную ось с «раскрытием» всех дифференциальных операторов.
2. Получить «классическое» уравнение теплопроводности из «нужного» уравнения системы гидродинамических уравнений.
3. Вычислить энтальпию для адиабатически сжимаемого газа.

Опросы студентов по дисциплине «Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах» являются проверкой выполнения домашних заданий (см. раздел «Примеры домашних заданий»).

Вопросы к экзамену по дисциплине «Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах»

1. Получение системы уравнений гидродинамики исходя из исходной модели сплошной среды.
2. Основные понятия и характеристики, касающиеся гидродинамики идеальной нетеплопроводящей жидкости. Введение понятия функции тока и ее связь с линией тока.
3. Интеграл Бернулли, частные случаи, использование интеграла для решения задач.
4. Общая характеристика потенциального и вихревого движения жидкости, Циркуляция скорости. Теорема Томсона и ее значение.
5. Интеграл Коши – Лагранжа. Математическая модель для описания потенциального движения жидкости; частные случаи.
6. Парадокс Даламбера относительно движения тела в идеальной жидкости.
7. Уравнения для описания вихревого движения жидкости; частные случаи.
8. Двумерные вихревые течения. Задача о «склеивании» потенциального и вихревого течения.
9. Основные типы вихревых течений. Комбинированный вихрь Рэнкина.
10. Теория и основные уравнения для анализа излучения звука вихрями в слабосжимаемых средах.
11. Генерация звука сдвиговыми течениями.
12. Вязкая жидкость. Система гидродинамических уравнений для вязкой и теплопроводной жидкости. Возможные подходы к решению этих уравнений. Течение Пуазейля и Куэтта.

13. Постановка задачи о погранслое. Метод получения (вывода) уравнения Прандтля для погранслоя.
14. Задача Блазиуса. Об автомодельных решениях нелинейных диф. уравнений в частных производных. Метод нахождения таких решений на примере задачи Блазиуса.
15. Уравнение для завихренности в случае вязкой жидкости. Диффузия завихренности в вязкой жидкости.
16. Характерные особенности простейшей модели геофизической гидродинамики. Основные типы возвращающих сил и соответствующих волновых движений в геофизической гидродинамике. Вывод выражения для частоты Брента-Вяйсяля.
17. Приближения и математические модели (уравнения) геофизической гидродинамики.
18. Поверхностные волны. Вывод дисперсионного уравнения, его анализ. Типы поверхностных волн, их особенности; различные приближения (связанные с глубиной водоема) при анализе этих волн.
19. Внутренние гравитационные волны; особенности дисперсионного уравнения для этого типа волн и его анализ. Инерционные волны.
20. Планетарные волны Россби; причины и механизм их образования; особенности дисперсионного уравнения для этого типа волн и его анализ.
21. Значение анализа на устойчивость/неустойчивость в гидродинамике. Основные типы гидродинамических неустойчивостей; их качественный анализ.
22. Принципы точного решения задач на исследование линейной гидродинамической устойчивости/неустойчивости. Метод нормальных мод.
23. Элементы теории турбулентности. Различные подходы к решению задач о турбулентных течениях (об уравнениях Рейнольдса; Теория Колмогорова - Обухова).

Примеры задач для зачета по дисциплине «Акусто-гидродинамические явления в сплошных средах»

1. Для безграничного двумерного нестационарного течения жидкости постоянной плотности получить возможные решения уравнения для завихренности в декартовых координатах при пропорциональности завихренности и функции тока.
2. Найти траектории «жидких частиц» в поверхностной волне.
3. Проанализировать влияние сжимаемости жидкости на развитие волновых (неволновых) процессов в этой жидкости при наличии стратификации (задача решается на основе анализа формулы для частоты Брента - Вяйсяля).

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

12.1. При изучении курса основное внимание следует уделять физическим механизмам изучаемых явлений, анализу математических моделей. Необходимо акцентировать внимание на взаимосвязи научных областей «Гидродинамика» и «Физическая акустика».

12.2. Литература

Основная литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986.
2. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. – М.: Мир, 1981

Дополнительная литература:

1. Степанянц Ю.А., Фабрикант А.Л. Распространение волн в сдвиговых потоках. – М.: Наука. Физматлит, 1996
2. Минович И.Я., Перник А.Д., Петровский В.С. Гидродинамические источники звука Л.: Судостроение, 1972

Периодическая литература:

1. Броман Г.И., Руденко О.В. Затопленная струя Ландау: точные решения, их смысл и приложения // УФН, 2010, Т. 180, №1, С. 97 – 104.
2. Маков Ю.Н. Аналогия эффектов стратификации и сжимаемости сдвиговых течений в теории гидродинамической устойчивости // Изв. АН СССР «Механика жидкости и газа», 1990, № 2, С. 176 – 178.
3. Маков Ю.Н., Руденко О.В., Нелинейная эволюция квазикруговых течений // Изв. АН СССР «Механика жидкости и газа», 1990, № 6, С. 167 – 169.

Интернет-ресурсы:

http://www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd_main.html - альбом течений жидкости и газа

13. Материально-техническое обеспечение

13.1. Помещения - учебная аудитория. Лекционные и семинарские занятия по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями к материально-техническим условиям реализации ООП (п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика»). Аудиторный фонд для проведения учебных занятий включает достаточное количество аудиторий для проведения лекций и семинарских занятий с количеством посадочных мест не менее 15 в каждой аудитории.

13.2. Оборудование – доска, фломастеры или мел; некоторые лекции сопровождаются иллюстративным материалом (либо фотоматериалы, либо демонстрация слайдов – компьютерных презентаций).

Специализированные компетенции профильной направленности обучения (специализированные компетенции магистерской программы)	
М-СПК-11	Способность профессионально использовать знания и практические навыки их применения для решения проблем как в области гидродинамики, так и в междисциплинарной области касательно акусто-гидродинамических явлений. Знание ключевых проблем современной акусто-гидродинамики и методов их решения, способность ставить и решать задачи в данной области, прежде всего применительно к задачам физической и прикладной акустики. Данная дисциплина формирует современного специалиста с универсальными знаниями и исследовательскими навыками в области гидродинамики и акустики, а также умением профессионально излагать результаты исследований в этой области в форме научных докладов и статей.

