

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА акустики**

УТВЕРЖДАЮ

«\_\_» \_\_\_\_\_ //  
20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Динамика сплошных сред**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

---

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

---

**Акустика**

Форма обучения:

**Очная**

---

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение\_\_\_\_\_

**Автор–составитель:**

к. ф.-м. н., доцент Маков Юрий Николаевич, кафедра акустики физического факультета МГУ

**Заведующий кафедрой**

д. ф.-м. н., профессор, академик РАН Руденко Олег Владимирович, заведующий кафедрой акустики

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Динамика сплошных сред»**

Дисциплина «Динамика сплошных сред» призвана дать студентам, обучающимся по программе специалитета на кафедре акустики достаточно полные и систематизированные знания по использованию концепции (модели) сплошной среды для описания динамики различных реальных вещественных сред с акцентом на акустические явления и процессы. На основе этой концепции дается подробное построение математических моделей жидких (текучих) сред с аналитическим описанием и анализом различных типов движения жидких сред (течения, вихревые движения и различные виды волн: акустические и гидродинамические), что соответствует традиционной научной дисциплине «Гидродинамика». Также упомянутая концепция используется для описания динамики твердых упругих сред при малых деформациях, что традиционно является содержанием дисциплины «Линейная теория упругости», которая в части изучения распространения упругих волн сопрягается с акустикой твердых тел. После изложения методов использования приближения (модели) сплошной среды к различным средам, что является эффективным научным «инструментом» многих современных дисциплин и направлений, в данном курсе более подробно рассматриваются особенности динамики жидкостей (т.е. гидродинамика), а также даются 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.

Дисциплина «Динамика сплошных сред» реализуется на 5 курсе в 9 (осеннем) семестре специалитета, входит в вариативную часть и является обязательной для освоения обучающимися по специализации «Акустика».

Объем дисциплины составляет 3 з.е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточной аттестацией по данной дисциплине является экзамен.

### 1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Динамика сплошных сред» относится к вариативной части, является обязательной для освоения обучающимися по специализации «Акустика» на кафедре акустики физического факультета МГУ.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Предполагается, что слушатели имеют устойчивые знания, полученные на предыдущих курсах специалитета и активно владеют базовыми методами математической физики, знают основы акустики и волновой физики.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
		<p><b>Знать:</b> математические модели и их физическое содержание для описания динамики «классических сред» - жидких текучих и упруго-твердых.</p> <p><b>Уметь:</b> использовать математические модели и их физическое содержание для постановки и рассмотрения задач динамики сплошных сред и для описания и анализа акустических процессов в этих средах.</p> <p><b>Владеть:</b> теоретическими и экспериментальными методами исследования эффектов, связанных с акусто-гидродинамическими процессами в различных средах и условиях.</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 (три) з.е., в том числе: 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная форма обучения включает в себя:

- а) занятия лекционного типа,
- б) контрольные работы в аудитории (разной продолжительности и трудоемкости),
- в) разбор и обсуждение результатов выполнения контрольных заданий, выполненных в аудитории или в виде домашней работы,
- г) групповые консультации.

Самостоятельная работа, составляющая официально запланированную часть учебного процесса изучения данного курса, направлена на: а) «закрепление» и дополнительную «проработку» лекционного материала, б) на самостоятельное изучение (и повторение) некоторых разделов физики и математики, необходимых для изучения данной дисциплины, в) для выполнения задаваемых на дом заданий (в основном, решение задач).

Аудиторные лекции, составляющие основу учебного программного материала, по отдельным тематическим разделам Программы дополняются передачей «расширенных» и «углубленных» учебных сведений обучающимся (магистрантам) дистанционно, используя средства электронного обучения и дистанционные образовательные технологии. Основной целью использования этих образовательных технологий является разъяснение и дополнение лекционного материала, а также методическая и консультационная помощь в выполнении плановой самостоятельной работы, составляющей существенную часть деятельности студентов при освоении дисциплины.

**5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Форма текущего контроля успеваемости, наименование
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы <sup>1</sup>				Всего		
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа					
	Семинары		Лабораторные занятия*	Практические занятия*				
Характеристика дисциплины. Необходимость, условия применения и смысл «приближения сплошной среды (СС)»	4	2				2	2	ДЗ, ОП
Анализ применимости приближения СС к разномасштабным системам. Рассмотрение конкретных примеров.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Получение (вывод) уравнений «модельной» СС на основе использование основных законов сохранения общей физики. Роль определяющих соотношений для конкретизации уравнений СС применительно к конкретным классам реальных сред.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Определяющие соотношения и система уравнений для описания динамики жидкости (идеальной и вязкой).	8	6				6	2	ДЗ, ОП
Уравнения гидродинамики в различной форме (в различной записи), использование для решения задач.	8	6				6	2	ДЗ, ОП
«Общегидродинамические» понятия и определения:	6	4				4	2	контрольная

<sup>1</sup>Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

сжимаемая и несжимаемая модели, граничные условия, функция и линии тока и др. Теорема (первый интеграл) Бернулли.								работа
Потенциальные и вихревые движения жидкости, их математическое описание. Первый интеграл Коши-Лагранжа. Сшивка двух типов движений	8	6				6	2	ДЗ, ОП
Динамика вязкой жидкости, математическое описание, Возможные упрощения при решении задач, простейшие по геометрии течения.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Постановка задачи о пограничном слое. Уравнения погранслоя Прандтля. Задача Блазиуса. Понятие об автомодельных решениях, подходы к «построению» таких решений.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Эйлеров и лагранжев подход к описанию сплошных сред. Ориентация каждого подхода на использование в описании различных видов сред. Соотношения между этими двумя подходами.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Модель твердой упругой среды; базовые уравнения. Вывод волнового уравнения для линейной теории упругости; два типа волн в твердых упругих средах.	8	6				6	2	ДЗ, ОП
Основные сведения о характерных акусто-гидродинамических явлениях. Взаимосвязь акустики с гидродинамикой.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Использование раздела «Геофизическая гидродинамика» для анализа различных гидродинамических волн. Анализ различных волн (поверхностных, внутренних, инерционных, волн Россби)	8	6				6	2	ДЗ, ОП
Теория гидродинамической неустойчивости, ее основные типы, связь с турбулентными течениями. Генерация шума.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Переход течений к турбулентному режиму. Сценарии перехода. Теория Колмогорова –Обухова.	6	4				4	2	ДЗ, ОП
Анализ акусто-гидродинамических эффектов. Радиационное (акустическое) давление. Акустические течения	6	4				4	2	ДЗ, ОП
<b>Промежуточная аттестация: ЭКЗАМЕН</b>	<b>4</b>						<b>4</b>	экзамен
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>72</b>					<b>36</b>	

## **6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

### **а) примеры домашних заданий по дисциплине «Динамика сплошных сред»**

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 «модельной» сплошной среды, вывести уравнение Навье-Стокса.
3. Рассмотреть задачу об определении скорости движения в основной трубе идеального газа (с учетом его сжимаемости) при использовании вставки в виде трубки Вентури.

### **б) примеры тем для обсуждений по дисциплине «Динамика сплошных сред»:**

1. Каковы характерные различия и их причины (физические и «отраженные» в математических моделях) для жидких текучих сред и твердых упругих сред.
2. Обсуждение линеаризованного и нелинейного вариантов теории упругости и основных уравнений.
3. После проведения контрольных работ **обсуждение** их итогов с разбором контрольных задач.

### **в) примеры контрольных вопросов и задач для контрольных работ по дисциплине «Динамика сплошных сред»:**

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.

**г) опросы студентов по дисциплине «Динамика сплошных сред» являются проверкой выполнения домашних заданий (см. раздел «а») примеры домашних заданий»).**

### **д) Экзаменационные вопросы к зачету по дисциплине «Динамика сплошных сред»:**

1. Краткая характеристика и взаимосвязь (соотношение) учебной дисциплины: «Динамика (механика) сплошных сред» с «Гидродинамикой», «Газодинамикой», «Теорией упругости», «Акустикой»
2. Приближение (модель) сплошной среды: цели, условия и примеры применимости. Как соотносится общая модель сплошной среды с конкретными моделями сред?
3. Общие принципы получения уравнений для общей модели сплошной среды (без конкретизации на реальные среды). Субстанциональная производная. Правило дифференцирования интеграла по жидкому объему. Объемные силы и тензор напряжений.
4. Вывод уравнений (на основе законов сохранения и балансовых соотношений физики) для общей модели сплошной среды.
5. Схема действий при конкретизации уравнений для общей модели сплошной среды применительно к реальным вещественным средам. Понятие об определяющих

соотношениях. Определяющие соотношения для жидкостей (в общем случае - вязких).

6. Вывод на основе полученных определяющих соотношений уравнений гидродинамики.  
Частные случаи гидродинамических моделей (в том числе, несжимаемая и баротропная жидкость).
7. Основные понятия, модели и результаты для идеальной жидкости (частично и для неидеальной). 1-ый интеграл Бернулли.
8. Два основных класса (потенциальное и вихревое (завихрённое)) движения жидких сред. Циркуляция скорости, теорема Томпсона о ее сохранении (при каких условиях теорема верна), значение этой теоремы.
9. 1-ый интеграл (Коши-Лагранжа) и уравнения для описания потенциальнодвижущейся жидкости; частные случаи использования этих уравнений.
10. Вихревые движения идеальной жидкости и основные варианты (при последовательном упрощении) уравнения, описывающего это движение.
11. Примеры вихревых (завихрённых) движений идеальной жидкости и примеры конкретных задач на «склею» вихревых и потенциальных движений.
12. Базовые уравнения для анализа неидеальных жидких сред. Возможные упрощения уравнений и постановок задач для нахождения аналитического описания динамики данного типа сред. Основные простые типы течений вязкой жидкости.
13. Сущность теории пограничного слоя (погранслоя) и условия ее использования. Получение системы основных уравнений (уравнений Прандтля) погранслоя.
14. Задача Блазиуса об обтекании и принцип ее решения. Понятие об автомодельных решениях
15. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию сплошных сред; сравнение характерных дифференциальных операторов в этих представлениях. Уравнение непрерывности в представлении Лагранжа. Пример с записью уравнения Эйлера в представлении Лагранжа.
16. Конкретизация уравнений сплошной среды для твердых упругих сред. Определяющее соотношение (обобщенный закон Гука), его конкретизация для изотропных однородных сред, параметры упругости, тензор деформации и тензор скорости деформации.
17. Вывод волнового уравнения в рамках линейной теории упругости с его решением (в одномерном случае) в виде двух типов упругих волн (продольные и поперечные) в данных средах.
18. Общий подход к рассмотрению (на основе полученного уравнения) различных типов упругих волн.
19. Отличительные свойства текучих и твердых упругих сред с точки зрения их физических свойств и математических моделей.

6.2. Шкала и критерии оценивания:

## 7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

### Основная литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987.
3. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. - М.: Наука.

Дополнительная литература:

1. Петкевич В. В. Основы механики сплошных сред. – М.: УРСС, 2001.
2. Гольдштейн Р. В., Городцов В. А. Механика сплошных сред ч. 1 – М.: Наука, 2000.
3. Гамалий Е. Г., Маков Ю.Н. Критерии и оценки инкрементов неустойчивости одномерного адиабатического течения. Препринт № 175 ФИАН.- М.,1986.

Периодические издания:

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.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

[http://www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd\\_main.html](http://www.imec.msu.ru/content/nio/VanDaik/vd_main.html) - альбом течений жидкости и газа

<http://www.akzh.ru> - архив всех выпусков «Акустического журнала» с прямым доступом к полнотекстовым отображениям всех статей (на рус. яз),

<http://akinfo.ru> - сигнальная информация (аннотирование) относительно новой литературы (журналы, периодические издания, книги, сборники и др.) по всем разделам научной области «Акустика», включая междисциплинарные направления

Описание материально-технической базы

Учебная аудитория физического факультета.

Проектор, компьютер

**8. Язык преподавания:** русский.