

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Механико-математический факультет
Кафедра газовой и волновой динамики



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
/Нигматулин Р.И./
«5» июня 2017г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Основы механики сплошных сред

наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:

специалитет

Направление подготовки (специальность):

01.05.01. Фундаментальные математика и механика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)

Форма обучения:

очная

очная, очно-заочная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании кафедры газовой и волновой динамики
(протокол №_15_, «_5_» __июня_ 2017_ года)

Москва 2017

На обратной стороне титула:

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности ***01.05.01. Фундаментальные математика и механика*** в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение _____ 2012 _____

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО (*относится к базовой или вариативной части ОПОП ВО, или является факультативом*).

Дисциплина относится к базовой части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть): _____

освоение дисциплин

Математический анализ

Алгебра

Дифференциальные уравнения

Уравнения с частными производными

Введение в топологию

Классическая дифференциальная геометрия

Численные методы

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с компетенциями
<p>ОПК-1 Готовность использовать фундаментальные знания в области механики сплошной среды в будущей профессиональной деятельности</p>	<p><i>Например,</i> Знать: <i>Законы и основные модели механики сплошных сред.</i> Уметь <i>Решать задачи механики сплошных сред</i></p>
<p>ПК-2 способность к самостоятельному анализу физических аспектов в классических постановках задач механики</p>	<p>Знать: <i>Знать основные модели механики сплошных сред</i> Уметь <i>Правильно выбирать модели для решения задач механики сплошных сред</i></p>

4. Формат обучения Очный

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 з.е., в том числе 72 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 72 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

6. Содержание дисциплины (модуля), 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 (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*	Всего	
Тема 1. Введение в мсс Понятие сплошной среды. Эйлеровы и Лагранжевы координаты. Закон движения сплошной среды. Эйлеров и Лагранжев подход к описанию движения. Индивидуальная производная. Вычисление ускорения по скорости.	8	2	2	4	4
Тема _2. Системы координат Криволинейные системы координат. Ковариантные и контравариантные векторы базиса. Формулы преобразования при переходе от одной системы координат к другой. Ковариантные, контравариантные и физические	6	3		3	3

компоненты вектора. Операции над векторами.					
Тема 3. Тензоры. Тензоры, формулы преобразования компонент тензора. Фундаментальный метрический тензор. Операции над тензорами. Инварианты. Теорема деления. Дифференцирование скалярной функции, вектор-функции и тензора любого ранга по координатам. Правила ковариантного дифференцирования. Символы Кристоффеля. Тензор кривизны. Тензоры второго ранга. Разложение в сумму симметричного и антисимметричного. Тензорная поверхность. Главные оси и главные компоненты симметричного тензора второго ранга, Инварианты, разложение на шаровой и девиатор. Асимметричные тензоры второго ранга.	6	3		3	3
Тема 4. Тензор деформации. Преобразование малой частицы при произвольном перемещении среды. Тензоры деформации Грина и Альманси. Главные оси и главные компоненты. Относительное изменение объема при деформировании. Компоненты тензоров деформации в пространственной системе координат. Выражение координат тензоров деформации через производные компонент вектора перемещения. Уравнения совместности деформаций.	10	3	2	5	5
Тема 5. Тензор скоростей деформации. Тензор скоростей деформации. Связь между компонентами тензоров деформации и скоростей деформации. Выражение компонент тензора скоростей деформаций через компоненты вектора скорости. Дивергенция скорости. Формула Гаусса-	4	2		2	2

Остроградского. Теорема Коши-Гельмгольца. Вектор вихря. Потенциал скорости. Циркуляция скорости. Формула Стокса.					
Тема 6. Закон сохранения массы. (ЗСМ) ЗСМ для индивидуального объема сплошной среды. Дифференцирование по времени интеграла по подвижному объему. ЗСМ для пространственного объема. Уравнение неразрывности. Уравнение неразрывности для несжимаемой среды. Уравнение неразрывности в Лагранжевых координатах.	8	2	2	4	4
Тема 7. Закон сохранения количества движения. (ЗСКД) Массовые и поверхностные силы. Вектор напряжений. ЗСКД для индивидуального объема сплошной среды. Тензор напряжений. Дифференциальные уравнения движения.	8	2	2	4	4
Тема 8. Закон сохранения момента количества движения. (ЗСМКД) Момент количества движения для конечного объема сплошной среды. Массовые и поверхностные пары. Вектор моментных напряжений. ЗСМКД для индивидуального объема сплошной среды. Тензор моментных напряжений. Дифференциальное уравнение момента количества движения. Дифференциальное уравнение собственного момента количества движения. Симметрия тензора напряжения при некоторых условиях.	4	2		2	2
Тема 9. Идеальные жидкости и газы. Модель сплошной среды или явления. Жидкости и газы. Давление. Идеальные жидкости и газы. Уравнение Эйлера. Полная система механических	23	4	8 контрольная работа	12	11

уравнений для несжимаемых идеальных жидкостей. Полная система уравнений для баротропных процессов. Граничное условие непроницаемости. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Стационарные течения. Метод контрольных поверхностей.					
Тема 10. Вязкие жидкости и газы. Модель Ньютоновской жидкости. Давление. Уравнения Навье-Стокса. Полная система уравнений. Граничные условия. Течение Куэтта. Течение Пуазейля.	16	2	6 контрольная работа	8	8
Тема 11. Линейная теория упругости. Закон Гука для анизотропной и изотропной сред. Коэффициенты упругости. Система уравнений линейной теории упругости при изотермических процессах. Уравнения Навье-Ламе. Граничные условия. Температурные напряжения и деформации.	16	2	6 контрольная работа	8	8
Тема 12. Первое начало термодинамики. Теорема живых сил. Работа внутренних поверхностных сил. Закон сохранения энергии (ЗСЭ). ЗСЭ для индивидуального объема. ЗСЭ для пространственного объема. Вектор потока тепла. Дифференциальное уравнение энергии. Уравнение притока тепла. Закон Фурье. Совершенный газ.	14	3	4	7	7
Тема 13. Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Второй закон термодинамики для индивидуального объема. Дифференциальное уравнение энтропии. Производство энтропии. Понятие некомпенсированного тепла. Неравенство Клазиуса. Тепловые машины. Цикл Карно. Теорема Карно. Абсолютная температура и энтропия.	15	4	4	8	7
Тема 14. Поверхности сильного разрыва.	4	2		2	2

Условия на поверхностях сильного разрыва в сплошных средах. Тангенциальные разрывы и ударные волны.					
Промежуточная аттестация _____ экзамен					2
Итого	144				

**Внимание! В таблице должно быть зафиксировано проведение текущего контроля успеваемости, который может быть реализован, например, в рамках занятий семинарского типа.*

*** Часы, отводимые на проведение промежуточной аттестации, выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося*

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

1. Найти компоненты тензора напряжений в зависимости от координат в покоящейся несжимаемой жидкости, находящейся в открытом сосуде, в поле силы тяжести. Над свободной поверхностью жидкости давление считать атмосферным, плотность жидкости известна.

2. Струя идеальной несжимаемой жидкости натекает на бесконечную твердую плоскость под прямым углом и растекается по ней. Внешними массовыми силами пренебречь, течение считать стационарным. Вдали от области встречи струи с плоскостью известны площадь сечения струи, плотность, давление p_0 и скорость. Давление в окружающей среде p_0 . Найти дополнительную силу, действующую на плоскость.

3. Линейно-вязкая, несжимаемая, теплопроводная невесомая жидкость течет между двух бесконечных пластин, одна из которых движется со скоростью v_2 . Температуры пластин T_1 и T_2 ($T_2 > T_1$). Течение стационарно, давление во всей области считать постоянным. Найти распределение скоростей и температур.

4. Упругий стержень висит в поле силы тяжести. Известны его параметры до деформации. Найти распределение напряжений и деформаций.

5. Показателем времени в водяных часах служит высота уровня в верхнем сосуде, которая должна уменьшаться равномерно с постоянной скоростью. Определить форму сосуда, употребляемую для водяных часов. Жидкость считать идеальной.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

1. Лагранжево описание движения сплошной среды. Лагранжевы (материальные) координаты. Закон движения точек сплошной среды. Вычисление компонент вектора скорости по закону движения. Вычисление ускорения по скорости при лагранжевом описании.
2. Эйлерово описание движения. Пространственные координаты. Вычисление поля ускорений по полю скоростей при эйлеровом описании. Индивидуальная (материальная, полная) и локальная производные по времени.
3. Переход от лагранжева описания движения сплошной среды к эйлерову и обратный переход.
4. Криволинейные системы координат. Координатные линии и поверхности, векторы базиса, формула для квадрата элемента длины дуги, взаимный векторный базис. Формулы их преобразования при переходе к другой системе координат.
5. Тензоры как объекты в евклидовом пространстве. Компоненты с разным строением индексов, их связь, формулы преобразования при переходе к другой системе координат. Физические компоненты.
6. Операции над тензорами. Обратный тензорный признак. Инварианты тензоров.
7. Тензорные поля. Ковариантное дифференцирование. Дивергенция и ротор вектора, градиент скалярной функции.
8. Тензоры второго ранга. Разложение на сумму симметричного и антисимметричного тензоров. Тензорная поверхность, главные оси, главные компоненты, инварианты симметричного тензора второго ранга. Шаровой тензор и девиатор.

9. Представление антисимметричного тензора второго ранга в трехмерном пространстве аксиальным вектором.
10. Тензоры конечных деформаций Грина и Альманси. Механический смысл компонент. Главные оси и главные компоненты тензоров деформации. Выражение для относительного изменения объема через инварианты тензоров деформации – при конечных и малых деформациях. Механический смысл первого инварианта тензора деформации в случае малых деформаций.
11. Выражение компонент тензоров деформаций через компоненты вектора перемещения. Линейные формулы в случае малых деформаций и малых относительных поворотов. Выражение для относительного изменения объема через вектор перемещения в случае малых деформаций и малых поворотов.
12. Уравнения совместности для компонент тензоров деформаций. Уравнения совместности Сен-Венана в случае малых деформаций.
13. Тензор скоростей деформаций. Определение. Выражение его компонент через компоненты скорости. Кинематический смысл компонент в декартовой системе координат. Механический смысл дивергенции вектора скорости. Условие несжимаемости среды.
14. Формула Коши-Гельмгольца для распределения скоростей в малой окрестности любой точки сплошной среды.
15. Вектор вихря. Определение. Кинематический смысл вектора вихря. Циркуляция скорости. Формула Стокса. Потенциал скорости. Эквивалентность потенциального и безвихревого движения.
16. Формула Гаусса-Остроградского. Кинематический смысл. Понятие потока вектора через поверхность.
17. Дифференцирование по времени интеграла по подвижному объему.
18. Формулировка закона сохранения массы для конечного индивидуального объема сплошной среды и для неподвижного, пространственного объема. Уравнение неразрывности при эйлеровом и при лагранжевом описании среды. Уравнение неразрывности для несжимаемой среды.
19. Силы, действующие на сплошную среду: массовые и поверхностные. Вектор напряжений.
20. Закон сохранения количества движения для конечного индивидуального объема сплошной среды.
21. Формула Коши, связывающая вектор напряжений на любой площадке с векторами напряжений на трех фиксированных взаимно перпендикулярных площадках. Тензор напряжений. Физический смысл компонент в декартовой системе координат.
22. Дифференциальные уравнения движения сплошной среды.
23. Формулировка закона сохранения момента количества движения для конечного индивидуального объема сплошной среды. Тензор моментных напряжений.
24. Дифференциальное уравнение момента количества движения. Условия, при которых симметрия тензора напряжений является следствием закона сохранения момента количества движения.
25. Жидкости и газы в механике сплошных сред. Тензор напряжений в покоящейся жидкости. Давление. Идеальная жидкость. Уравнения Эйлера.

26. Полные системы механических уравнений для несжимаемой идеальной жидкости и для баротропных движений сжимаемой идеальной жидкости. Условие непроницаемости на поверхности твердых тел.
27. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа.
28. Вязкая жидкость. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Связь между компонентами тензоров вязких напряжений и скоростей деформаций в изотропной линейно-вязкой жидкости (закон Навье-Стокса). Первый и второй коэффициенты вязкости (коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости). Кинематический коэффициент вязкости.
29. Уравнения Навье-Стокса. Граничное условие прилипания на поверхности твердых тел. Полная система уравнений несжимаемой линейно-вязкой жидкости.
30. Упругая среда. Линейно-упругая среда. Закон Гука для изотропной линейно-упругой среды при изотермическом деформировании. Физический смысл коэффициентов, входящих в закон Гука.
31. Замкнутая система уравнений линейной теории упругости (для изометрических процессов). Типичные граничные условия.
32. Уравнения Навье-Ламе для линейно-упругих сред.
33. Теорема живых сил (теорема о кинетической энергии) для системы материальных точек и для сплошной среды. Работа внутренних поверхностных сил. Работа внутренних поверхностных сил в идеальной жидкости.
34. Закон сохранения энергии – Первый закон термодинамики. Формулировка закона сохранения энергии для конечного индивидуального объема сплошной среды. Работа внешних сил. Приток тепла. Теплопроводность. Вектор потока тепла.
35. Дифференциальное уравнение энергии. Уравнение притока тепла (уравнение внутренней энергии).
36. Выражение для притока тепла к малой частице за счет теплопроводности. Закон теплопроводности Фурье для изотропной и анизотропной сред.
37. Уравнение энергии в случае теплопроводности в покоящейся среде.
38. Совершенный газ. Уравнение притока тепла для идеального газа. Удельные теплоемкости в процессах с постоянным объемом и с постоянным давлением. Формула Майера. Связь между давлением и плотностью при адиабатическом движении идеального совершенного газа (адиабата Пуассона).
39. Второй закон термодинамики (формулировка, содержащая понятие энтропии). Обратимые и необратимые процессы. Приток энтропии извне и производство энтропии.
40. Формулировка второго закона термодинамики для конечного индивидуального объема сплошной среды. Дифференциальное уравнение энтропии.
41. Производство энтропии в процессе теплопроводности.
42. Формулировка второго закона термодинамики, содержащая понятие «некомпенсированное тепло».

43. Тепловые машины. Цикл Карно. Обратимый цикл Карно для совершенного газа.
44. Физические формулировки второго закона термодинамики. Их эквивалентность.
45. Теорема Карно о коэффициенте полезного действия тепловых машин. Абсолютная температура.
46. Введение энтропии для систем, состоящих их подсистем, для которых определена температура, на основе утверждения о невозможности вечного двигателя второго рода.
47. Поверхности разрыва в сплошных средах. Поверхности сильного и слабого разрыва. Условия на поверхностях сильного разрыва, следующие из законов сохранения массы, количества движения, момента количества движения, энергии и закона возрастания энтропии. Ударные волны, тангенциальные разрывы, контактные разрывы.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
РО и соответствующие виды оценочных средств				
ОПК-1 Знать <i>Законы и основные модели механики сплошных сред.</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
ОПК-1 Уметь <i>Решать задачи механики сплошных сред</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
ПК-2 <i>Знать основные модели механики сплошных сред</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
ПК-2	Отсутствие умений	В целом успешное, но не	В целом успешное, но	Успешное и

<p>Уметь <i>Правильно выбирать модели для решения задач механики сплошных сред</i></p>		<p>систематическое умение</p>	<p>содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприципиального характера)</p>	<p>систематическое умение</p>
--	--	-------------------------------	--	-------------------------------

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной литературы,
 - Основная:
 - Седов Л.И. Механика сплошной среды. Москва. Наука. 1970.
 - Эглит М.Э. Механика сплошных сред в задачах. Московский лицей. 1996.
 - Дополнительная:
 - Эглит М.Э. Лекции по основам механики сплошных сред. Издательство Московского Университета. 2008.
 - Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды. Москва. Гэотар-Медиа. 2014.
- Перечень лицензионного программного обеспечения (при необходимости)
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
- Описание материально-технического обеспечения.
 - Аудитория
 - Доска
 - мел

9. Язык преподавания.

Русский

10. Преподаватель (преподаватели).

К.ф.-м.н. доцент Лужин Александр Александрович

К.ф.-м.н. доцент Якунчиков Артем Николаевич

М.н.с. Тимохин Евгений Владимирович

11. Автор (авторы) программы.

К.ф.-м.н. доцент Лужин Александр Александрович

К.ф.-м.н. доцент Якунчиков Артем Николаевич