

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Механико-математический факультет
Кафедра инженерной механики и прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____/Ганиев Р.Ф./
«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Физико-химические процессы в газовой динамике

наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:

специалитет

Направление подготовки (специальность):

Фундаментальные математика и механика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

Механика жидкости, газа и плазмы

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

Форма обучения:

очная

(очная, очно-заочная)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании кафедры инженерной механики и прикладной математики
(протокол № _____, «__» _____ 20__ года)

Москва 2019

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 « программы специалитета » (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки; программы специалитета; программы магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение _____

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

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

Освоение следующих дисциплин:

Математический анализ

Алгебра

Дифференциальные уравнения

Уравнения с частными производными

Основы механики сплошной среды

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

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

4. Формат обучения **очный**

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 5 з.е., в том числе 72 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 108 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. Примеры явлений и задач газовой динамики, где необходим учет физико-химических процессов. Межмолекулярные столкновения. Диссоциация и ионизация. Возбуждение внутренних степеней свободы.	10	4	0	4	6
Тема 2. Ансамбль химических веществ и ансамбль химических реакций. Компоненты и элементы. Матрицы системы химических реакций.	10	4	0	4	6
Тема 3. Основные понятия: многокомпонентная смесь, плотность смеси, числовая и массовая концентрации, скорость смеси, скорость компоненты, диффузионная скорость, диффузионный поток, парциальное давление.	10	4	0	4	6

Тема 4. Химические реакции: закон кратных отношений, закон сохранения массы в реакциях. Закон действующих масс, коэффициенты скорости реакции, константа равновесия. Закон Арениуса.	10	4	0	4	6
Тема 5. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности для смеси. Уравнения диффузии компонентов смеси. Производство массы k-того компонента за счет химических реакций.	10	4	0	4	6
Тема 6. Закон сохранения импульса. Теорема живых сил для многокомпонентной смеси.	4	2	0	2	2
Тема 7. Закон сохранения полной энергии (I начало термодинамики). Вектор потока тепла. Уравнение притока тепла.	10	4	0	4	6
Коллоквиум по темам 1–7	2				2
Тема 8. II начало термодинамики. Тождество Гиббса. Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии в вязкой теплопроводной смеси реагирующих газов.	14	6	0	6	8
Тема 9. Уравнения переноса. Линейная теория неравновесных процессов. Принцип Кюри. Теорема Онсагера.	10	4	0	4	6
Тема 10. Гетерогенные каталитические реакции на поверхности. Адсорбция, десорбция, поверхностная диффузия и рекомбинация. Теория идеального адсорбированного слоя Ленгмюра. Ударный и ассоциативный механизм рекомбинации.	10	4	0	4	6
Тема 11. Соотношения на разрыве. Граничные условия на неразрушающейся и разрушающейся поверхности.	4	2	0	2	2
Коллоквиум по темам 8–11	2				2
Тема 12. Аэротермохимия турбулентного течения. Поток и параметры переноса.	15	6	0	6	9

Тема 13. Гиперзвуковое обтекание тел вязким газом.	15	6	0	6	9
Тема 14. Теория пограничного слоя.	15	6	0	6	9
Тема 15. Теория тонкого ударного слоя. Теория полного вязкого ударного слоя.	15	6	0	6	9
Тема 16. Численные методы.	10	6	0	6	4
Промежуточная аттестация: экзамен	4				4
Итого	180			72	108

**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. Коллоквиум по темам 1–7:

- 1.1. Приведите примеры явлений и задач газовой динамики, где необходим учет физико-химических процессов.
- 1.2. Продемонстрировать, как записывается система химических реакций, ансамбль химических веществ.
- 1.3. Ввести основные понятия (многокомпонентная смесь, плотность смеси, числовая плотность смеси и компонент, числовая и массовая концентрации, скорость смеси, скорость компоненты, диффузионная скорость, диффузионный поток, парциальное давление).
- 1.4. Записать выражение для скорости химической реакции (закон действующих масс). Записать выражения для коэффициентов скорости реакции (закон Арениуса).
- 1.5. Вывести уравнение неразрывности для смеси газов. Вывести уравнение диффузии для компонентов смеси. Записать производство массы k -того компонента за счет химических реакций.
- 1.6. Вывести уравнение движения для смеси газов из закона сохранения импульса. Пояснить существование тензора напряжений. Доказать теорему живых сил для многокомпонентной смеси.
- 1.7. Записать закон сохранения полной энергии (I начало термодинамики). Пояснить существование вектора потока тепла. Вывести уравнение притока тепла.

2. Коллоквиум по темам 8-11:

- 2.1. Сформулировать II начало термодинамики, тождество Гиббса, показать, вывести уравнение баланса энтропии.
- 2.2. Вывести выражение для производства энтропии в вязкой теплопроводной смеси реагирующих газов.
- 2.3. Записать полную систему уравнений для описания течений вязкой теплопроводной смеси реагирующих газов. Пояснить, какие параметры будут являться неизвестными, а какие необходимо выразить, чтобы замкнуть систему.
- 2.4. Сформулировать положения линейной теории неравновесных процессов, показать, откуда следует принцип Кюри. Сформулировать теорему Онсагера.
- 2.5. Перечислить основные типы поверхностных реакций, записать эти реакции. Сформулировать основные предположения теории идеального адсорбированного слоя Ленгмюра. Ввести модели ударного и ассоциативного механизма рекомбинации.
- 2.6. Записать соотношения на разрыве (применительно к задаче о течении вязкой теплопроводной смеси реагирующих газов). Записать граничные условия на разрушающейся и неразрушающейся поверхности.

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

1. Список билетов к экзамену:

1. Введение. Примеры явлений и задач газовой динамики, где необходим учет физико-химических процессов. Межмолекулярные столкновения. Диссоциация и ионизация. Возбуждение внутренних степеней свободы.

2. Ансамбль химических веществ и ансамбль химических реакций. Компоненты и элементы. Матрицы системы химических реакций.
3. Основные понятия: многокомпонентная смесь, плотность смеси, числовая и массовая концентрации, скорость смеси, скорость компоненты, диффузионная скорость, диффузионный поток, парциальное давление.
4. Химические реакции: закон кратных отношений, закон сохранения массы в реакциях. Закон действующих масс, коэффициенты скорости реакции, константа равновесия. Закон Арениуса.
5. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности для смеси. Уравнения диффузии компонентов смеси. Производство массы k -того компонента за счет химических реакций.
6. Закон сохранения импульса. Теорема живых сил для многокомпонентной смеси.
7. Закон сохранения полной энергии (I начало термодинамики). Вектор потока тепла. Уравнение притока тепла.
8. II начало термодинамики. Тождество Гиббса. Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии в вязкой теплопроводной смеси реагирующих газов.
9. Уравнения переноса. Линейная теория неравновесных процессов. Принцип Кюри. Теорема Онсагера.
10. Гетерогенные каталитические реакции на поверхности. Адсорбция, десорбция, поверхностная диффузия и рекомбинация. Теория идеального адсорбированного слоя Ленгмюра. Ударный и ассоциативный механизм рекомбинации.
11. Соотношения на разрыве. Граничные условия на неразрушающейся и разрушающейся поверхности.
12. Аэротермохимия турбулентного течения. Поток и параметры переноса.
13. Гиперзвуковое обтекание тел вязким газом.
14. Теория пограничного слоя.
15. Теория тонкого ударного слоя. Теория полного вязкого ударного слоя.
16. Численные методы.

2. Список дополнительных вопросов:

2.1. Список вопросов двух коллоквиумов (см. выше)

2.2. Дополнительные вопросы по темам 12–16:

- Описать особенности изучения турбулентного течения (влияние на параметры переноса).
- Привести примеры постановок о гиперзвуковом обтекании тел вязким газом, описать известные результаты.
- Ввести теорию пограничного слоя, показать, как преобразуется система уравнений.
- Ввести теорию тонкого ударного слоя и теорию полного вязкого ударного слоя.
- Описать основные подходы к численному моделированию изучаемых в курсе течений.

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания (виды оценочных средств: устные и письменные опросы и контрольные работы, тесты, и т.п.)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: практические контрольные задания, написание и защита рефератов на заданную тему и т.п.)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной литературы:
- Дорренс У.Х. Гиперзвуковые течения вязкого газа. М.: Мир, 1966.

- Мартин Дж. Вход в атмосферу. М.: Мир. 1969.
- Агафонов В.П., Вертушкин В.Л., Гладков А.А., Полянский О.Ю. Неравновесные физико-химические процессы в аэродинамике. М.: Машиностроение. 1985.
- Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. М.: Машиностроение. 1975.
- Полежаев Ю.В., Юревич Ф.Б. Тепловая защита. М.: Энергия. 1976
- Полянский О.Ю., Кузнецов М.М., Меньшикова В.Л. и др. Влияние свойств реального газа на аэродинамические и тепловые характеристики гиперзвуковых летательных аппаратов. ЦАГИ. ОНТИ. Обзоры. 1987. № 676.
- Пилюгин Н.Н., Тирский Г.А. Динамика ионизованного излучающего газа. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1989.
- Ковалев В.Л. Гетерогенные каталитические процессы в аэродинамике. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2002
- Лунев В.В. Течение реальных газов с большими скоростями. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007
- Перечень лицензионного программного обеспечения (при необходимости):
Не требуется.
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:
Не требуется.
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости):
Не требуется.
- Описание материально-технического обеспечения:
 - Аудитория
 - Доска
 - Мел
 - Экран
 - Проектор

9. Язык преподавания:

Русский

10. Преподаватель (преподаватели):

Доцент, к.ф.-м.н. Якунчиков Артем Николаевич

11. Автор (авторы) программы:

Профессор, д.ф.-м.н. Ковалев Валерий Леонидович,

Доцент, к.ф.-м.н. Якунчиков Артем Николаевич