

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./
«10» июня 2019г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Численное моделирование динамики деформирования и разрушения
упруговязкопластических 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: В-ПД

Фундаментальная механика

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

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании кафедры газовой и волновой динамики
(протокол №_15_, «_10_» _июня_ 20_19_ года)

Москва 2019

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 «Фундаментальные математика и механика», реализуемой по схеме программы специалитета в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение 2013, 2014, 2015

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО: *относится к вариативной части ОПОП ВО.*
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть): *отсутствуют.*
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с компетенциями
УК-1	Способность формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности.
УК-2	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.
УК-14	Способность использовать современные информационно-коммуникационные технологии в академической и профессиональной сферах
ОПК-1	Готовность использовать фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа, алгебры, линейной алгебры, аналитической геометрии, дифференциальной геометрии и топологии, дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, дискретной математики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики, механики сплошной среды, теории управления и оптимизации в будущей профессиональной деятельности.
ОПК-3	Способность к самостоятельной научно-исследовательской работе.
ОПК-4	Способность находить, анализировать, реализовывать программно и использовать на практике математические алгоритмы, в том числе с применением современных вычислительных систем.

<i>ПК-1</i>	Способность к самостоятельному анализу поставленной задачи, выбору корректного метода ее решения, построению алгоритма и его реализации, обработке и анализу полученной информации.
<i>ПК-2</i>	Способность к самостоятельному анализу физических аспектов в классических постановках математических задач и задач механики.
<i>ПК-3</i>	Способность к самостоятельной научно-исследовательской работе.
<i>ПК-4</i>	Способность находить, анализировать, реализовывать программно и использовать на практике математические алгоритмы, в том числе с применением современных вычислительных систем.

4. Формат обучения: стандартный.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 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
		Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*	Всего	
1. Область вычислительной механики сплошной среды. Краткий исторический обзор. Основные этапы вычислительного эксперимента.	3	2		2	1
2. Понятия сходимости, аппроксимации и устойчивости конечно-разностных схем уравнений в частных производных. Спектральный признак устойчивости. Условие Куранта, Фридрихса и Леви, необходимое для сходимости.	3	2		2	1
3. Аппроксимационная вязкость. П - и Г-формы первого дифференциального приближения.	3	2		2	1
4. Простейшие приемы построения аппроксимирующих разностных схем: замена производных разностными отношениями, метод неопределенных	3	2		2	1

коэффициентов, схемы с пересчетом, или предиктор-корректор					
5. Неявные разностные схемы.	4	2		2	2
6. О решении разностных уравнений неявных разностных схем. Метод прогонки, итерационные методы.	4	2		2	2
7. Расчет разрывных решений. Искусственная вязкость. Дивергентные разностные схемы. Волны одноосных напряжений в длинных стержнях. Анализ по теории с не зависящим от скорости деформаций уравнением состояния (теория Рахматулина–Тейлора–Кармана). Волна разгрузки Рахматулина.	4	2		2	2
8. Метод характеристик применительно к задаче распространения волн одноосных напряжений. Анализ по теории с зависящим от скорости деформаций уравнением состояния (теория Соколовского–Малверна).	4	2		2	2
9. Конечно-разно-разностное решение задачи о соударении тонкого стержня с жесткой стенкой. Продолжительность упругопластического удара	4	2		2	2
10. Текущий контроль успеваемости (собеседование в устной форме)	4	2		2	2
11. Волны одноосных деформаций: задача о плоском соударении пластин с откольным разрушением (определяющие уравнения модели упругопластического течения; конечно-разностная схема метода	4	2		2	2

Уилкинса; численная реализация граничных условий; введение параметров поврежденности; критерии разрушения Губера-Мизеса-Генки и предельной удельной диссипации; метод явного выделения поверхностей разрушения; анализ результатов расчетов).					
12. Некоторые точные решения одномерных задач динамики несжимаемой вязкой жидкости со сферической и цилиндрической симметриями. Задача Забабахина. Некоторые точные решения одномерных задач динамики несжимаемой вязкопластической среды со сферической и цилиндрической симметриями.	4	2		2	2
13. Пространственные динамические упруговязкопластические задачи: постановка задач; основные модели сред (модели упругого, термоупругого, термовязкоупругого тел, упругопластического течения типа Прандтля-Рейса, упруговязкопластические модели типа Соколовского-Пэжины, модели сред с внутренними параметрами состояния, моделирующими микроразрушения типа пор, трещинок, полос сдвига)	4	2		2	2
14. Пространственные динамические упруговязкопластические задачи: постановка задач; основные модели сред (модели упругого, термоупругого, термовязкоупругого тел,	4	2		2	2

упругопластического течения типа Прандтля-Рейса, упруговязкопластические модели типа Соколовского-Пэжины, модели сред с внутренними параметрами состояния, моделирующими микроразрушения типа пор, трещинок, полос сдвига)					
15. Конечно-разностная схема метода Уилкинса на четырехугольных сетках. Обоснование процедуры «приведения напряжений на поверхность текучести» при численном интегрировании уравнений упругопластического течения типа Прандтля-Рейса. Возможные варианты развития метода Уилкинса при больших деформациях в двумерном случае: треугольные сетки, искусственные вязкости специального типа и сглаживание, локальная и глобальная перестройки сетки.	4	2		2	2
16. Особенности постановки и численного решения двумерных осесимметричных задач соударения и проникания (граничные условия на контактных поверхностях взаимодействующих тел, условия на оси симметрии). Анализ результатов расчетов задачи нормального соударения тела вращения с жесткой преградой и задачи нормального пробивания телом вращения пластины конечной толщины.	4	2		2	2

17. Трехмерные упругопластические задачи: постановка задач, определяющие уравнения; конечно-разностная схема метода Уилкинса, численное моделирование граничных условий. Соударение упругопластического тела с жесткой стенкой: особенности процесса взаимодействия в трехмерном случае.	4	2		2	2
18. Современные тенденции развития численных методов решения динамических задач деформирования и разрушения твердых тел	4	2		2	2
Промежуточная аттестация: экзамен (указывается форма проведения)	4				(количество часов, ** отведенных на промежуточную аттестацию)
Итого	72				

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

*** , 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: собеседование со слушателями для оценки усвояемости материала и консультаций.

Вопросы для собеседования со слушателями:

1. Область вычислительной механики сплошной среды. Краткий исторический обзор. Основные этапы вычислительного эксперимента.
2. Понятия сходимости, аппроксимации и устойчивости конечно-разностных схем уравнений в частных производных. Спектральный признак устойчивости. Условие Куранта, Фридрихса и Леви, необходимое для сходимости.
3. Аппроксимационная вязкость. П - и Г- формы первого дифференциального приближения.
4. Простейшие приемы построения аппроксимирующих разностных схем: замена производных разностными отношениями, метод неопределенных коэффициентов, схемы с пересчетом, или предиктор-корректор
5. Неявные разностные схемы.
6. О решении разностных уравнений неявных разностных схем. Метод прогонки, итерационные методы.
7. Расчет разрывных решений. Искусственная вязкость. Дивергентные разностные схемы. Волны одноосных напряжений в длинных стержнях. Анализ по теории с не зависящим от скорости деформаций уравнением состояния (теория Рахматулина–Тейлора–Кармана). Волна разгрузки Рахматулина.
8. Метод характеристик применительно к задаче распространения волн одноосных напряжений. Анализ по теории с зависящим от скорости деформаций уравнением состояния (теория Соколовского–Малверна).
9. Конечно-разно-разностное решение задачи о соударении тонкого стержня с жесткой стенкой. Продолжительность упругопластического удара

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации: собеседование со слушателями для оценки усвояемости материала и консультаций.

Вопросы к экзамену.

1. Область вычислительной механики сплошной среды. Краткий исторический обзор. Основные этапы вычислительного эксперимента.

2. Понятия сходимости, аппроксимации и устойчивости конечно-разностных схем уравнений в частных производных. Спектральный признак устойчивости. Условие Куранта, Фридрихса и Леви, необходимое для сходимости.
3. Аппроксимационная вязкость. П - и Г- формы первого дифференциального приближения.
4. Простейшие приемы построения аппроксимирующих разностных схем: замена производных разностными отношениями, метод неопределенных коэффициентов, схемы с пересчетом, или предиктор-корректор
5. Неявные разностные схемы.
6. О решении разностных уравнений неявных разностных схем. Метод прогонки, итерационные методы.
7. Расчет разрывных решений. Искусственная вязкость. Дивергентные разностные схемы. Волны одноосных напряжений в длинных стержнях. Анализ по теории с не зависящим от скорости деформаций уравнением состояния (теория Рахматулина–Тейлора–Кармана). Волна разгрузки Рахматулина.
8. Метод характеристик применительно к задаче распространения волн одноосных напряжений. Анализ по теории с зависящим от скорости деформаций уравнением состояния (теория Соколовского–Малверна).
9. Конечно-разно-разностное решение задачи о соударении тонкого стержня с жесткой стенкой. Продолжительность упругопластического удара
10. Волны одноосных деформаций: задача о плоском соударении пластин с откольным разрушением (определяющие уравнения модели упругопластического течения; конечно-разностная схема метода Уилкинса; численная реализация граничных условий; введение параметров поврежденности; критерии разрушения Губера-Мизеса-Генки и предельной удельной диссипации; метод явного выделения поверхностей разрушения; анализ результатов расчетов).
11. Некоторые точные решения одномерных задач динамики несжимаемой вязкой жидкости со сферической и цилиндрической симметриями. Задача Забабахина. Некоторые точные решения одномерных задач динамики несжимаемой вязкопластической среды со сферической и цилиндрической симметриями.
12. Пространственные динамические упруговязкопластические задачи: постановка задач; основные модели сред (модели упругого, термоупругого, термовязкоупругого тел, упругопластического течения типа Прандтля-Рейса, упруговязкопластические модели типа Соколовского-Пэжины, модели сред с внутренними параметрами состояния, моделирующими микроразрушения типа пор, трещинок, полос сдвига)

13. Пространственные динамические упруговязкопластические задачи: постановка задач; основные модели сред (модели упругого, термоупругого, термовязкоупругого тел, упругопластического течения типа Прандтля-Рейса, упруговязкопластические модели типа Соколовского-Пэжины, модели сред с внутренними параметрами состояния, моделирующими микроразрушения типа пор, трещинок, полос сдвига)
14. Конечно-разностная схема метода Уилкинса на четырехугольных сетках. Обоснование процедуры «приведения напряжений на поверхность текучести» при численном интегрировании уравнений упругопластического течения типа Прандтля-Рейса. Возможные варианты развития метода Уилкинса при больших деформациях в двумерном случае: треугольные сетки, искусственные вязкости специального типа и сглаживание, локальная и глобальная перестройки сетки.
15. Особенности постановки и численного решения двумерных осесимметричных задач соударения и проникания (граничные условия на контактных поверхностях взаимодействующих тел, условия на оси симметрии). Анализ результатов расчетов задачи нормального соударения тела вращения с жесткой преградой и задачи нормального пробивания телом вращения пластины конечной толщины.
16. Трехмерные упругопластические задачи: постановка задач, определяющие уравнения; конечно-разностная схема метода Уилкинса, численное моделирование граничных условий. Соударение упругопластического тела с жесткой стенкой: особенности процесса взаимодействия в трехмерном случае.
17. Современные тенденции развития численных методов решения динамических задач деформирования и разрушения твердых тел

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания (виды оценочных средств: устные опросы)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

Умения (виды оценочных средств: практические контрольные задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР)	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:

Основная литература

1. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. – М.: Мир, 1972.
2. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы (введение в теорию). – М.: Наука, 1973.
3. Прочность и разрушение при кратковременных нагрузках / Х.А. Рахматулин, Е.И. Шемякин, Ю.А. Демьянов, А.В. Звягин: учебное пособие. - М.: Университетская книга; Логос, 2008.
4. Майборода В.П., Кравчук А.С., Холин Н.Н. Скоростное деформирование конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 1986.
5. Высокоскоростное взаимодействие тел / В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников, И.И. Шабалин, В.А. Бабаков, В.Ф. Куропатенко, А.Б. Киселев, Ю.А. Тришин, А.И. Садырин, С.П. Киселев, И.Ф. Головлев. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.
6. Динамика удара: Пер. с англ. / Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др. – М.: Мир, 1985.
7. Кукуджанов В.Н. Вычислительная механика сплошных сред. – М.: Физматлит, 2008.
8. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980.
9. Шокин Ю. И., Яненко Н. Н. Метод дифференциального приближения. Приложения к газовой динамике. - Новосибирск: Наука, 1985.

10. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы решения гиперболических систем уравнений. – М.: Физматлит, 2001.
11. Дьяченко В.Ф. Основные понятия вычислительной математики. – М.: Наука, 1977.

Дополнительная литература

1. Киселев А.Б. О граничных условиях для задач МДТТ с центральной и осевой симметриями // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1995. - № 6. - С. 106-108.
2. Киселев А.Б. О численном интегрировании уравнений течения упрочняющейся упругопластической среды // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1995. - № 4. - С. 71-74.
3. Киселев А.Б. О динамическом сжатии (расширении) сферической полости в вязкой несжимаемой жидкости. Задача Забабахина // Прикладная физика и математика (ПФиМ) – 2014. – № 6 – С. 42-46.
4. Киселев А.Б. К исследованию процесса нестационарного расширения толстостенных сферических и цилиндрических вязкопластических оболочек // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. – 2012. - № 6. – С. 20-25.
5. Киселев А.Б. Численное исследование в трехмерной постановке процесса соударения упругопластических тел с жесткой преградой // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1985. - № 4. - С. 51-56.
6. Киселев А.Б. К расчету трехмерной задачи высокоскоростного соударения упругопластического стержня с жесткой преградой // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1988. - № 2. - С. 30-36.
7. Киселев А.Б., Юмашев М.В. Деформирование и разрушение при ударном нагружении. Модель повреждаемой термоупругопластической среды // Прикладная механика и техническая физика (ПМТФ). - 1990. - № 5. - С. 116-123.
8. Киселев А.Б., Кабак Н.Е., Максимов В.Ф. Метод построения расчетных сеток в двумерных областях с выделением внутренних контактных границ // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1992. - № 3. - С. 35-42.
9. Киселев А.Б. К расчету трехмерной задачи высокоскоростного соударения упругопластического стержня с жесткой преградой // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1988. - № 2. - С. 30-36.
10. Уилкинс М., Френч С., Сорем М. Конечно-разностная схема для решения задач, зависящих от трех пространственных координат и времени // Численные методы в механике жидкостей. – М.: Мир, 1973. - С. 115-119.
11. Киселев А.Б. Развитие метода Уилкинса для решения трехмерных задач соударения деформируемых твердых тел // Взаимодействие волн в деформируемых средах. - М.: Изд-во МГУ, 1984. - С. 87-100.
12. Киселев А.Б. Математическое моделирование динамического деформирования и комбинированного микроразрушения термоупруговязкопластической среды // Вестник МГУ. Серия 1. Математика. Механика. - 1998. - № 6. - С. 32-40.

13. *Веклич Н.А., Малышев Б.М.* Продолжительность удара упругопластического стержня // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1976. - № 2. – С. 193-197.

14. Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967 (статьи *М. Уилкинса, Дж. Майнчена и С. Сака и др.*).

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель: профессор А.Б. Киселев

11. Автор (авторы) программы: профессор А.Б. Киселев