

Красноярск 2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования с учетом профессиональных стандартов по укрупненной группе

010000 «МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА»

Направление подготовки /специальность (профиль/специализация)

Направление 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Магистерская программа 01.04.02.01 Математическое моделирование

Программу составили	<u>д.ф.-м.н., профессор, Адрианов А.Л.</u>
------------------------	--

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины

Целями изучения дисциплины являются: подготовка студентов магистратуры в области прикладной математики, механики и информатики до уровня, сравнимого с аспирантами и соискателями степени PhD зарубежных вузов; формирование универсальных и профессиональных компетенций, которыми обязан владеть будущий элитный специалист в избранной сфере деятельности; студенты магистратуры должны получить необходимую эрудицию в области существующих современных подходов (методов) вычислительной механики жидкости и газа (МЖГ).

В настоящее время существует много важных практических задач и приложений, где без использования ЭВМ и связанного с ним вычислительного моделирования уже просто не обойтись. Именно так обстоит дело в некогда классической МЖГ – науке, которая, как и механика деформируемого твердого тела лежит в основе создания аэрокосмической отрасли страны.

В дисциплине «Вычислительные методы МЖГ» изучаются основы современного вычислительного моделирования как одномерных, так и многомерных физических процессов.

К целям изучения данной дисциплины можно также отнести обучение студентов магистратуры, бакалавриата и специалитета самостоятельному решению классических задач математики и механики, а также практическому применению математических методов решения многомерных задач, включая алгоритмизацию задачи и разработку программного обеспечения (ПО) (в перспективе адаптацию существующего ПО под суперЭВМ), а также использование средств компьютерной (машинной) алгебры.

1.2 Задачи изучения дисциплины

Задачами изучения дисциплины являются: в процессе изучения дисциплины студенты магистратуры должны знать о существующих в настоящий момент вычислительных методах применяющихся в МЖГ, информационных технологиях; усвоить основы современных машинных (в смысле ЭВМ) методов решения классических задач континуальной и дискретной математики; усвоить основные разделы современного численного анализа; получить навыки конструирования наиболее точных и экономичных вычислительных методов решения задач механики, физики, гидрогазодинамики (МЖГ), экономики, экологии и т.п.; обеспечить межпредметную связь ранее изучаемых дисциплин,

таких как: математический анализ, уравнения математической физики, функциональный анализ, методы вычислений, дискретная математика, программирование, общая физика и теоретическая механика, современные алгоритмы для исследования математических моделей.

В задачи дисциплины также входит освоение основных этапов вычислительного моделирования: выбор и формулировка вычислительного метода (запись разностной схемы) и краевых условий в дискретной форме; дискретизация расчетной области (построение сетки); исследование свойств данного метода (аппроксимация, устойчивость, сходимость и др.); выбор метода решения алгебраических уравнений (нахождение решения разностной задачи); анализ полученного результата.

В процессе изучения дисциплины магистранты должны усвоить разделы современного численного анализа, научиться конструировать наиболее точные и экономичные вычислительные методы решения многочисленных задач МЖГ, физики, гидрогазодинамики, экономики, экологии и т.п.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

ПК-1:Способен разрабатывать и исследовать математические модели, методы и алгоритмы по тематике проводимых исследований	
Уровень 1	концептуальные и теоретические модели классических проблем и задач; современные тенденции и направления в научных исследованиях
Уровень 1	анализировать новые возникающие проблемы и находить пути их решения; исследовать и разрабатывать математические модели, методы и алгоритмы по тематике проводимых научных исследований
Уровень 1	современными математическими и информационными методами работы; инструментальными средствами по тематике проводимых научно-исследовательских проектов

1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Перечень основных дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

- математический анализ, уравнения математической физики;
- функциональный анализ;
- методы вычислений (численные методы);
- общая физика, теоретическая механика;

- современные алгоритмы для исследования математических моделей.

Данная дисциплина хорошо стыкуется с дисциплинами, читаемыми ранее или параллельно, такими как: дискретные модели механики деформируемого твердого тела (включая вычислительные аспекты), нелинейный функциональный анализ и его приложения, прикладные вопросы функционального анализа, компьютерное моделирование, математические модели конвекции.

1.5 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. час)	Семестр
		3
Общая трудоемкость дисциплины	4 (144)	4 (144)
Контактная работа с преподавателем:	1,06 (38)	1,06 (38)
занятия лекционного типа	0,53 (19)	0,53 (19)
занятия семинарского типа		
в том числе: семинары		
практические занятия	0,53 (19)	0,53 (19)
практикумы		
лабораторные работы		
другие виды контактной работы		
в том числе: групповые консультации		
индивидуальные консультации		
иная внеаудиторная контактная работа:		
групповые занятия		
индивидуальные занятия		
Самостоятельная работа обучающихся:	1,94 (70)	1,94 (70)
изучение теоретического курса (ТО)		
расчетно-графические задания, задачи (РГЗ)		
реферат, эссе (Р)		
курсовое проектирование (КП)	Нет	Нет
курсовая работа (КР)	Нет	Нет
Промежуточная аттестация (Экзамен)	1 (36)	1 (36)

3 Содержание дисциплины (модуля)

3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа (акад. час)	Занятия семинарского типа		Самостоятельная работа, (акад. час)	Формируемые компетенции
			Семинары и/или Практические занятия (акад. час)	Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Механика сплошной среды.	7	0	0	20	ПК-1
2	Теория разностных схем в МЖГ	12	19	0	50	ПК-1
Всего		19	19	0	70	

3.2 Занятия лекционного типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме

1	1	<p>Свойства газов и жидкостей.</p> <p>Молекулярная структура газов и жидкостей, потенциал взаимодействия.</p> <p>Гипотеза Даламбера-Эйлера и критерий сплошности среды.</p> <p>Уровни описания течений жидкости и газа. Модели жидкой среды. Основные модели сплошной и разреженной сред.</p> <p>Основные гипотезы.</p> <p>Макроскопические параметры и функции состояния среды.</p> <p>Уравнения состояния (термическое и калорическое) идеального и реального газов. Свойства жидкостей и газов (текучесть, вязкость, сжимаемость).</p> <p>Вязкость, упругость (скорость звука) и теплопроводность среды с позиций кинетической теории газов. Скорость распространения малых возмущений в потоке газа. Скорость звука.</p> <p>Критерий сжимаемости.</p> <p>Число Маха</p>	2	0	0
---	---	---	---	---	---

2	1	<p>Элементы механики сплошной среды. Точки зрения Лагранжа и Эйлера на изучение движения сплошной среды; переход от переменных Лагранжа к переменным Эйлера и наоборот.</p> <p>Сопутствующая (собственная, естественная) система координат.</p> <p>Индивидуальная (полная) и местная производные по времени.</p> <p>Установившиеся и не установившиеся движения; роль системы координат при описании таких движений. Линия тока и траектория частицы (случаи их совпадения и несовпадения, примеры).</p> <p>Потенциальное векторное поле; примеры потенциальных и не потенциальных полей величин. Интегральная и дифференциальная формы записи законов сохранения; эквивалентность и различие форм, отсутствие их взаимно-однозначного соответствия. Формулы Грина, Стокса, Остроградского-Гаусса.</p> <p>Соотношения на поверхностях разрывов. Вывод соотношений на разрывах из интегральных законов сохранения</p>	3	0	0
---	---	--	---	---	---

3	1	<p>Модельные уравнения в частных производных. Классификация дифференциальных уравнений в частных производных. Постановка краевых задач. Корректность краевой задачи. О корректной постановке задач газодинамики. Модельные уравнения в частных производных. Уравнения переноса, теплопроводности, Лапласа, Пуассона. Системы уравнений газовой динамики, акустики. Другие системы уравнений, используемые в вычислительных методах</p>	2	0	0
---	---	--	---	---	---

4	2	<p>Элементы метода сеток. Сеточная функция (способы определения), разновидности расчетных сеток, применяющихся в МЖГ. Сеточная функция (способы определения), разновидности расчетных сеток для областей различной формы. Структурированные и неструктурированные сетки. Примеры построения простейших разностных схем. Явные и неявные разностные схемы. Способы построения. Запись разностной схемы в операторной форме на примере уравнения Пуассона. Свойства разностных схем. Сходимость, аппроксимация, устойчивость, монотонность, консервативность, транспортность и пр. Порядок аппроксимации разностной схемы и его определение. Понятие о первом дифференциальном приближении. Устойчивость разностной схемы. Зависимость между аппроксимацией, устойчивостью и сходимостью в линейном случае (теорема Лакса). Спектральный признак устойчивости. Спектр оператора перехода. Спектральный радиус. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-¹¹ Леви. Замечание об экономичности разностной схемы</p>	4	0	0
---	---	---	---	---	---

5	2	<p>Методы решения сеточных уравнений. Прямые методы решения. Методы скалярной и матричной прогонки. Итерационные методы решения уравнения Пуассона. Искусственное введение времени в стационарный процесс (принцип установления). Метод установления. Метод искусственной сжимаемости Б.Г. Кузнецова</p>	6	0	0
---	---	--	---	---	---

6	2	<p>Методы расщепления и другие методы. Метод конечных разностей для решения многомерных задач. Методы расщепления по физическим процессам и координатным направлениям. Метод переменных направлений. Метод дробных шагов Н.Н. Яненко. Редукция многомерной задачи для уравнений в частных производных к задаче для обыкновенных дифференциальных уравнений (метод прямых). Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа (Общие сведения). Методы расчета течений сжимаемой жидкости. Разностные схемы с явной и неявной искусственной вязкостью. Искусственное сглаживание немонотонностей в решении. Основные положения метода распада разрывов С.К. Годунова на примере уравнений акустики. Обобщение данного метода на квазилинейные уравнения газовой динамики. Стационарный вариант метода распада разрывов. Численное решение уравнений пограничного слоя и параболизированных уравнений Навье-Стокса (Общие сведения). Другие численные методы (Общие сведения).¹³ Неоднородные численные методы решения многомерных задач</p>	2	0	0
---	---	---	---	---	---

Результат		10	0	0
-----------	--	----	---	---

3.3 Занятия семинарского типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	2	Знакомство и изучение оболочки (системы) MathCAD, встроенной графики, Quicksheets (быстрые листы), help (помощь). Знакомство с таблицами физических констант в MathCAD	2	0	0
2	2	Представление чисел на ЭВМ; разрядная сетка ЭВМ; арифметика с плавающей точкой (логарифмическая погрешность); вычисление машинного эпсилон. Символьная арифметика в MathCAD. Получение (математический вывод) соотношений на газодинамических разрывах средствами компьютерной алгебры MathCAD	2	0	0
3	2	Модельные уравнения; разностная аппроксимация простейших дифференциальных операторов на практических примерах; явные и неявные разностные схемы (РС). Исследование явных разностных схем для простейшего гиперболического уравнения переноса (пассивной субстанции в МЖГ)	2	0	0

4	2	<p>Моделирование процесса теплопроводности на основе аппарата явных разностных схем.</p> <p>Моделирование процесса теплопроводности на основе аппарата неявных разностных схем</p>	4	0	0
5	2	<p>Сходимость РС; аппроксимация РС на примерах (практическое доказательство, в частности, в системе MathCAD с использованием функции «series» (symbolic math)); спектральный признак устойчивости РС (практическое доказательство устойчивости РС, в частности, в системе MathCAD с использованием функции «series» (symbolic math)); анализ устойчивости РС для простейшего уравнения переноса; условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (КФЛ); математическое моделирование и анализ численных решений уравнения переноса с переменной, зависящей от координат (x,t), скоростью; анализ устойчивости РС для простейшего уравнения диффузии; математическое моделирование и анализ численных решений уравнения диффузии с различными краевыми условиями; анализ диссипативных и дисперсионных свойств конкретных РС; неявные РС и их реализация в системе MathCAD</p>	6	0	0

6	2	Численное решение уравнений Лапласа, Пуассона итерационными методами. Метод прямых	3	0	0
Всего			10	0	0

3.4 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисципли ны	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
Всего					

4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Адрианов А. Л., Блинов А. Н., Матвеев А. Д., Гапоненко Ю. А.	Современные вычислительные алгоритмы для исследования математических моделей: электрон. учеб. -метод. комплекс дисциплины	Красноярск: ИПК СФУ, 2007

5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

6.1. Основная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Зализняк В.Е.	Численные методы. Основы научных вычислений: учеб. пособие для бакалавров по спец. (напр.) подг. 010501 (010500.62) "Прикладная математика и информатика"	Москва: Юрайт, 2012
Л1.2	Самарский А. А., Попов Ю. П.	Разностные методы решения задач газовой динамики: учебное пособие для вузов по специальности "Прикладная математика"	Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980
Л1.3	Плис А.С., Сливина Н.А.	Mathcad. Математический практикум для инженеров и экономистов: учеб. пособие	М.: Финансы и статистика, 2003
6.2. Дополнительная литература			

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Пирумов У. Г., Росляков Г. С.	Численные методы газовой динамики: учебное пособие для втузов	Москва: Высшая школа, 1987
Л2.2	Марчук Г. И.	Методы вычислительной математики: учеб. пособие	Санкт- Петербург: Лань, 2009
6.3. Методические разработки			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Адрианов А. Л., Блинов А. Н., Матвеев А. Д., Гапоненко Ю. А.	Современные вычислительные алгоритмы для исследования математических моделей: электрон. учеб. -метод. комплекс дисциплины	Красноярск: ИПК СФУ, 2007

7 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Э1	Численные методы механики жидкости и газа	https://studfiles.net/preview/1672484/
----	---	---

8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Самостоятельная работа предусматривает три вида деятельности обучающегося: изучение теоретического курса, решение задач и работа на компьютере (ПК).

Для самостоятельного изучения теоретического материала используются учебники и учебные пособия, приведенные в списке литературы.

Для успешного освоения материала студентам магистратуры выдаются домашние контрольные задачи. Набор задач формируется лектором. Лектор проводит консультации по решению задач самостоятельной работы и проверяет корректность предложенных решений.

Также для самостоятельной работы студенту выдается домашнее задание, в которое включаются вопросы по теоретической части курса и типовые контрольные задания на компьютере.

Заключительная форма контроля – экзамен. На экзамене требуется выполнить работу, включающую в себя теоретические вопросы по темам 1–6 и задачи по этим темам. На экзамен приносятся листинги разработанных студентом авторских вычислительных программ, по тексту которых возможны дополнительные вопросы. Экзамен проводится в устной форме. Образец билета приведен в фонде оценочных средств.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий;

- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения;

- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала;

- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями отвечает на связанные вопросы.

9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)

9.1 Перечень необходимого программного обеспечения

9.1.1	Методика проведения занятий предусматривает использование технических средств (проекторы, интерактивные доски), обеспеченных соответствующим программным обеспечением. Применяется вычислительная техника и программная среда MathCad
-------	---

9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем

9.2.1	Учебная и научная литература по курсу. Компьютерные демонстрации, связанные с программой курса, технические возможности для их просмотра. Наличие компьютерных программ общего назначения.
9.2.2	Операционные системы: семейства Windows (не ниже Windows XP).

10 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Аудитория должна быть оборудована современным видеопроекционным оборудованием для презентаций, вычислительной техникой, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами.

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, в зависимости от нозологий, осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.