



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра общей и космической физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
/ Н.М. Буднев
« 20 » _____ 2017 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Б1.Б.15.2 Численные методы и математическое моделирование

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: академический бакалавриат

Направленность (профиль): «Фундаментальная физика»

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 8 от «19» июня 2017 г.

Зам. председателя к.ф.-м.н., доцент
В.В Чумак

Рекомендовано кафедрой:
общей и космической физики
Протокол № 9
от «1» _____ июня _____ 2017 г.
Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор
Паперный В.Л.

Иркутск 2017 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
5. Содержание дисциплины (модуля)	4
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	4
5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами	6
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	6
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	7
6.1. План самостоятельной работы студентов	8
6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	8
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):	9
а) <i>основная литература</i>	9
б) <i>дополнительная литература</i>	9
в) <i>программное обеспечение</i>	9
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	10
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):	10
10. Образовательные технологии:	10
11. Оценочные средства (ОС):	10
ПРИЛОЖЕНИЕ: Фонд оценочных средств	14

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель курса – дать студентам представление о современных методах обработки информации и исследования явлений путем их численного моделирования на компьютерах, способствовать развитию их интеллектуальных, творческих способностей и критического мышления в ходе проведения исследований, анализа явлений, восприятия и интерпретации информации.

Для достижения данной цели были поставлены **задачи**:

- освоить приемы и методы программирования;
- изучить основы построения численной модели физического явления;
- освоить численные методы и основы математического моделирования.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Курс численные методы и математическое моделирование модуля «информатика» относится к базовой части математического и естественнонаучного цикла дисциплин. Данная дисциплина предназначена для студентов второго курса.

При изучении данного курса используются разделы и темы следующих дисциплин:

- основы физики (механика, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, атомная и ядерная физика);
- высшая математика (математический анализ, аналитическая геометрия, дифференциальное и интегральное исчисление, элементы вычислительной математики, теория вероятностей и математическая статистика)

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Курс «Численные методы и математическое моделирование», согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, позволяет студенту приобрести следующие общепрофессиональные компетенции (ОПК):

- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности (ОПК-4);
- способностью использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией (ОПК-5);
- способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий с учётом основных требований информационной безопасности (ОПК-6).

В результате изучения данного курса студенты должны *знать*

- основные принципы построения систем обработки и передачи информации;
- основы подхода к анализу информационных процессов;
- современные аппаратные и программные средства вычислительной техники;

уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		3			
Аудиторные занятия (всего)	100/2,78	100			
В том числе:				-	-
Лекции	18/0,5	18			
Практические занятия (ПЗ)					
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)	72/2	72			
КСР	10/0,28	10			
Самостоятельная работа (всего)	44/1,2	44			
В том числе:				-	-
Решение задач на программирование	42/1,2	42			
Подготовка к зачету	2/0,06	2			
Контактная работа (всего)	104,4/2,9	104,4			
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)					
Общая трудоемкость	часы зачетные единицы	144	144		
		4	4		

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Раздел 1. Введение в численные методы.

Тема 1. Понятие численных методов.

Суть возникающих проблем. Влияние погрешности компьютерных вычислений. Пример – “исчезновение” корней и “ложные” корни алгебраических уравнений. Отличие численных алгоритмов от аналитических.

Тема 2. Визуализация данных.

Способы отображения вычисленных данных. Использование специализированных средств. Среда Gnuplot. Основные команды, примеры построения графиков функций. Простейшие скрипты среды Gnuplot. Сохранение построенных графиков в файл.

Тема 3. Численное решение нелинейных алгебраических уравнений.

Методы касательной, секущей, бисекции. Понятие расходимости алгоритма. Понятие скорости сходимости. Локализация корней.

Тема 4. Решение систем линейных уравнений.

Матричный метод (обратной матрицы), метод Крамера, метод Гаусса-Жордана. Реализация методов. Сравнение методов по количеству операций и характеру накопления ошибок. Алгоритмы для случаев диагональных матриц.

Тема 5. Численное дифференцирование и интегрирование.

Основная формула дифференциального исчисления. Дифференцирование функций, заданных аналитически. Выбор величины приращения. Дифференцирование дискретно заданных функций. Понятие разделенной разности. Понятие сетки. Численное интегрирование в случае равномерной сетки. Метод прямоугольников и метод Симпсона. Интегрирование функции, заданной на неравномерной сетке. Интегрирование функций, имеющих особую точку.

Тема 6. Интерполяция. Аппроксимация. Экстраполяция.

Основные понятия. Линейная и полиномиальная интерполяция. Интерполяционный многочлен Лагранжа, плюсы и минусы. Кусочная интерполяция. Аппроксимация заданными функциями. Метод наименьших квадратов.

Раздел 2. Сплайны.

Тема 7. Основные понятия сплайн-функций.

Интерполяционные и аппроксимирующие сплайны. Сглаживающие и локальные сплайны. Представление через В-сплайны. “Сшивки” сплайнов. Понятие дефекта сплайна. Особенности сплайнов на равномерной и неравномерной сетках. Понятие узла сплайна и узла интерполяции.

Тема 8. Локальные В-сплайны.

Основные формулы. Подпрограммы вычисления коэффициентов и значений сплайна. Интегрирование и дифференцирование функций, заданных сплайном. Решение уравнений.

Тема 9. Интерполяционные кубические сплайны.

Сходимость сплайнов четной и нечетной степеней. Особенности использования на равномерной и неравномерной сетках. Основные формулы. Применение метода универсальной прогонки 3-диагональных матриц для нахождения коэффициентов сплайна.

Тема 10. Сплайны с дефектом, отличным от 1.

Смысл использования. Алгоритмы построения кубического сплайна дефекта 2 и сплайна 5-степени дефекта 3.

Тема 11. Приближение кривых.

Проблема замкнутых линий. Использование полярной системы координат. Параметрические сплайны. Кривые Безье. Сплайн Акимы.

Раздел 3. Численные методы решений обыкновенных дифференциальных уравнений.

Тема 12. Методы решения уравнений с начальными условиями (задача Коши).

Метод Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений второго и более высоких порядков.

Тема 13. Методы решения уравнений с граничными условиями (краевая задача).

Метод «стрельбы» решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с граничными условиями. Конечно-разностный метод решения краевой задачи.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)
1.	Основы сетевых технологий	Раздел 1, раздел 2
2.	Базы данных	Раздел 1, раздел 2
3.	Методы обработки сигналов и изображений	Раздел 1, раздел 2
4.	Управление внешними устройствами	Раздел 1, раздел 2

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					Всего
			Лек ц.	Практ. Зан.	Семин	Лаб. зан.	СРС	
1.	Введение в численные методы.	Понятие численных методов.	1					1
2.	Введение в численные методы.	Визуализация данных.	1			4	2	7
3.	Введение в численные методы.	Численное решение нелинейных алгебраических уравнений.	1			4	2	7
4.	Введение в численные методы.	Решение систем линейных уравнений.	1			6	4	11
5.	Введение в численные методы.	Численное дифференцирование и интегрирование.	2			8	4	14
7.	Введение в численные методы.	Интерполяция. Аппроксимация. Экстраполяция.	2			8	4	14
8	Сплайны.	Основные понятия сплайн-	1			4	4	9

		функций.						
9	Сплаины.	Локальные В-сплайны.	2			8	4	14
10	Сплаины.	Интерполяционные кубические сплайны.	1			6	4	11
11	Сплаины.	Сплаины с дефектом, отличным от 1.	1			4	2	7
12	Сплаины.	Приближение кривых.	1			4	4	9
13.	Численные методы решений обыкновенных дифференциальных уравнений	Методы решения уравнений с начальными условиями (задача Коши)	2			8	4	14
14.	Численные методы решений обыкновенных дифференциальных уравнений	Методы решения уравнений с граничными условиями (краевая задача).	2			8	4	14

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	1	Визуализация данных.	6	практ. И твор. Задания, собес.	ОПК4 ОПК5 ОПК6
2.	1	Численное решение нелинейных алгебраических уравнений.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
3.	1	Решение систем линейных уравнений.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
4.	1	Численное дифференцирование и интегрирование	6	практ. И твор. Задания, собес.	
5.	1	Интерполяция. Аппроксимация. Экстраполяция.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
6.	2	Основные понятия сплайн-функций.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
7.	2	Локальные В-сплайны.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
8.	2	Интерполяционные кубические сплайны.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
9.	2	Сплаины с дефектом, отличным от 1.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
10.	2	Приближение кривых.	6	практ. И твор. Задания, собес.	
11.	3	Методы решения уравнений с начальными условиями (задача	6	практ. И твор. Задания, собес.	

		Коши)			
12.	3	Методы решения уравнений с граничными условиями (краевая задача).	6	практ. И твор. Задания, собес.	

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Все темы	Решение задачи на программирование	Написать программу	Вся рекомендуемая литература	42
2.	Текущие консультации				2

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий - на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не предусмотрены.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

а) основная литература

1. Квасов, Б. И. Численные методы анализа и линейной алгебры. Использование Matlab и Scilab [Электронный ресурс] / Б. И. Квасов. - Москва : Лань", 2016. - Режим доступа: ЭБС "Издательство Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2019-3
2. Амосов, А. А. Вычислительные методы [Электронный ресурс] / А. А. Амосов, Н. В. Копченова, Ю. А. Дубинский. - Москва : Лань", 2014. - 672 с. : ил. ; 21 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Предметный указатель: с. 655-666. - Библиогр.: с. 648-654 (27 назв.). - ISBN 978-5-8114-1623-3
3. Красов, В. И. Практическое программирование [Текст] : учеб. пособие / В. И. Красов, А. А. Перевалов ; рец.: А. Г. Ченский, В. Б. Иванов ; Иркутский гос. ун-т, Физ. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2015. - 111 с. ; 20 см. - ISBN 978-5-9624-1279-5 : УДК 681.3.06(075.8) . – (66 экз.)

б) дополнительная литература

- сверено с ЖБ ЧГУ Ж*
1. Срочко, В. А. Численные методы [Текст] : курс лекций : учеб. пособие / В. А. Срочко. - СПб. : Лань, 2010. - 202 с. ; 20 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 200. - ISBN 978-5-8114-1014-9 : УДК 519.6(075.8) – (85 экз.)
 2. Завьялов, Ю. С.. Методы сплайн-функций [Текст] : научное издание / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко ; ред. Н. Н. Яненко. - М. : Наука, 1980. - 352 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 346-350. - Предм. указ.: с. 351-352. УДК 519.651 – (3 экз.)
 3. Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. Л. Акулич. - Москва : Лань, 2011. - 352 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Библиогр.: с. 347. - ISBN 978-5-8114-0916-7
 4. Иванов, В.Б. Компьютерное моделирование и программирование [Текст] : учеб.пособие / В.Б. Иванов; М-во образования РФ. - Иркутск : Изд-во ИГУ.
 - а. Ч.1 : Основы компьютерного моделирования. - 2003. - 91 с. - Библиогр.: с.91. – (33 экз.)
 - б. Ч.2 : Язык программирования СИ. - 2003. - 68 с. - Библиогр.: с. 68. – (50 экз.)
 - с. Ч.3 : Инструментальные средства моделирования. - 2003. - 143 с. – (50 экз.)
 5. Численные методы: теория и практика [Текст] : учеб. пособие для бакалавров / У. Г. Пирумов [и др.] ; Моск. авиац. ин-т. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2012. - 421 с. ; 21 см. - (Бакалавр. Базовый курс). - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 416. - ISBN 978-5-9916-1867-0 УДК 519.6(075.8). – (1 экз.)

в) программное обеспечение

На каждом компьютере установлены ОС Linux (Ubuntu 14.04.2 LTS) и следующие программные пакеты: Geany 1.23.1, Midnight Commander, Leafpad, Mozilla, Gnuplot, Evince 3.10.3, LibreOffice 4.2.8.2. Все установленное программное обеспечение Freeware. Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по дисциплине Б1.Б.15.2 «Численные методы и математическое моделирование».
 - ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
 - ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
 - ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Применять полученные знания на практике студенты могут в двух специальных дисплейных классах с современной вычислительной техникой и соответствующим программным обеспечением. В классе имеет 14 стационарных компьютеров (Intel Atom CPU D2500) с мониторами (Samsung S19A10 18.5"), WiFi-роутер 54M Wireless Router TL-WR542G, маршрутизатор DES-1005D. Компьютеры имеют доступ к локальной сети университета и выход в Интернет. Студенты могут самостоятельно закреплять полученный на лекциях материал в этих классах. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: переносной проектор (CASIO XJ-A241), стационарный настенный экран (Classic Solution, 244x244), ноутбук Lenovo B590. Кроме того, на факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы.

10. Образовательные технологии:

Изучение курса «Численные методы и математическое моделирование» идет в плане накопительной системы, т.е. содержательная часть каждого раздела, как правило, может завершаться либо опросом, либо индивидуальными заданиями на практическом занятии. Студент в течение каждого семестра должен выполнить определённое количество практических заданий. Контроль самостоятельной работы осуществляется при проверке созданной студентом компьютерной программы или модели из списка *семестровых заданий* по теме соответствующего раздела. Преподаватель оценивает работоспособность программы, её завершенность, гибкость, универсальность и рациональность. В зависимости от степени успеваемости студента и недочетов программы, даётся дополнительное задание. Итоговый контроль: зачёт.

11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

11.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не осуществляется.

11.2. Оценочные средства текущего контроля

Каждое задание предполагает написание студентом программы в среде Geany на заданную тему, отладка и защита ее. При необходимости провести исследование полученной модели путем изменения параметров задачи. За выполнение задания студент получает определенное количество баллов. Однотипные задания собраны в разделы. Для получения зачета в семестре необходимо набрать 20 баллов, выполнив хотя бы по одному заданию из каждого раздела. Текст заданий приведен ниже.

1. *Найти корень уравнения $\sin(x)=0.5$ на интервале от 0 до 1 с относительной ошибкой, не превышающей 1%. Решение получить двумя способами: 1 - использовать метод половинного деления; 2 – использовать метод хорд. Убедиться в том, что для оптимально написанных программ метод хорд более эффективен по быстродействию. Подтверждением этому должен служить тот факт, что для достижения одинаковой точности во втором методе требуется меньшее число обращений к функции (в данном случае к функции $\sin(x)$).*
2. *Методом трапеций и методом Симпсона вычислить с заданной точностью определенный интеграл:*

$$\int_0^{\pi} \sin(x) dx.$$

Убедиться в том, что метод Симпсона дает более точное значение интеграла по сравнению с методом трапеций при одинаковом числе разбиений интервала интегрирования.

3. *Решить дифференциальное уравнение $y'=y$ на интервале от 0 до 2 с начальным условием $y(0)=1$ методом Эйлера и по неявной схеме. Сравнить оба численных решения с точным $y=e^x$ путем построения графиков решений. Предусмотреть возможность изменения величины шага интегрирования, и убедиться в том, что с уменьшением шага точность улучшается.*
4. *Методом Рунге-Кутты четвертого порядка решить дифференциальное уравнение:*

$$\frac{dy}{dx} = xy$$

с начальным условием $y(0)=1$ на интервале от 0 до 1. Построить графики численного решения и точного решения:

$$y = e^{x^2/2}.$$

5. *Составить программу, вычисляющую функцию $\sin(x)$ с помощью разложения в функции в ряд Тейлора. Вычисление функции должно быть выполнено с заданной относительной точностью.*
6. *Найти точку, доставляющую минимум функции двух переменных:*

$$f(x, y) = x^2 - \sqrt{y} + y \sin(2x) + 2.5$$

при ограничениях:

$$y \geq 1, \quad x^2 + y^2 \leq 9, \quad 2x + 3y \geq 4.$$

7. *Методом прогонки решить следующую краевую задачу:*

$$x \frac{d^2 y}{dx^2} + 2 \frac{dy}{dx} - xy = e^x, \quad y(1) = 0, \quad y(2) = 1.$$

Построить графики численного решения и точного решения:

$$y = \frac{e^x}{2} + \frac{C_1 e^x - C_2 e^{-x}}{x},$$

где

$$C_1 = \frac{5 - 2e^2}{2(e^2 - 1)}, \quad C_2 = \left(C_1 + \frac{1}{2}\right)e^2.$$

Проанализировать зависимость точности численного решения от числа разбиений интервала, на котором ищется решение.

8. Найти производные функций аналитически и численно. Нарисовать графики, сравнить.

1) $y = |x|$

2) $y = (x+2)^{\frac{2}{3}} - (x-2)^{\frac{2}{3}}$

3) $y = \frac{e^x}{1+x}$

4) $y = \sqrt[3]{\frac{x^2}{x+1}}$

5) $y = \frac{a^x}{1+a^{2x}} - \frac{1-a^{2x}}{1+a^{2x}} \operatorname{arctg}(a^{-x}) \quad a > 1$

6) $y = x^2 \sin\left(\frac{1}{x}\right)$

7) $y = x^3 \sin\left(\frac{1}{x}\right)$

9. Построить интерполяционный полином для функции $f(x)$. Исследовать качество интерполяции в зависимости от числа узлов интерполяции.

1) $f(x) = \sin(2\pi x), \quad x \in [-2, 2]$

2) $f(x) = e^{-x^2} + x^2 + \sin(2\pi x), \quad x \in [-2, 2]$

3) $f(x) = \frac{1}{1+2x^2}, \quad x \in [-2, 2]$

10. Написать программу для вычисления базовых сплайнов.

11. Построить графики базисных сплайнов $B_{0,i}(x)$, $B_{1,i}(x)$, $B_{2,i}(x)$.

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации


Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при защите готовой программы	Все темы	ОПК-5, ОПК-4
2.	Подготовка к зачету	Все разделы	ОПК-5, ОПК-6

Примерный список вопросов к зачету:

1. Приближенное решение трансцендентных уравнений
2. Методы вычислений определенных интегралов
3. Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений в постановке задачи Коши.
4. Численное решение линейных дифференциальных уравнений в задаче с краевыми условиями.
5. Формирование математических и компьютерных моделей.
6. Реализация основных численных методов в пакете.

Разработчики:



(подпись)

доцент, к.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

С.П., Горбунов
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
«01» июня 2017 г.

Протокол № 9, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.