



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.О.14.02 Численные методы и математическое моделирование

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол №38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель  Буднев Н.М.

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и космической физики

**Протокол №** 8

от « 15 » марта 2023 г.

**Зав.кафедрой** д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2023 г.

## Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО</b> .....	3
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины</b> .....	3
<b>IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)</b> .....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	5
4.1. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	5
4.3. Содержание учебного материала .....	6
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	8
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии) .....	8
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	9
а) <i>перечень литературы</i> .....	9
б) <i>периодические издания</i> .....	10
в) <i>список авторских методических разработок</i> .....	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	10
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	10
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	10
6.2. Программное обеспечение: .....	10
6.3. Технические и электронные средства: .....	10
<b>VII. Образовательные технологии</b> .....	11
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации</b> .....	11
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ: ФОС</b> .....	14

## **I. 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.

## **II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Курс численные методы и математическое моделирование модуля «информатика» относится к обязательной части блока Б1. Данная дисциплина предназначена для студентов 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)

## **III. Требования к результатам освоения дисциплины**

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

- способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности (ОПК-3).

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-3	ИДК ОПК.3.3 Использует современные информационные технологии для исследования и моделирования физических явлений и процессов в сфере своей профессиональной деятельности	<b>Знает:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные принципы построения систем обработки и передачи информации;</li> <li>• основы подхода к анализу информационных процессов;</li> <li>• современные аппаратные и программные средства вычислительной техники.</li> </ul> <b>Умеет:</b> использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов.

#### **IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)**

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часов,

в том числе 94 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 20 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт.

**4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Введение в численные методы.	2	54	8	8	28		18	Решение задач на программирование
2	Раздел 2. Слайны.	2	44	8	6	20		18	
3	Раздел 3. Численные методы решений обыкновенных дифференциальных уравнений.	2	32	4	6	12		14	
	Зачёт	2							Собеседование
	Контроль на зачёт		8						
	КСР		6						
	<b>Итого часов</b>		<b>144</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>60</b>		<b>50</b>	

**4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Все разделы	Решение задачи на программирование	В течение семестра	46	Задачи и упражнения	Вся рекомендуемая литература
1	<b>Все разделы</b>	Работа с лекционным материалом и учебной литературой. Подготовка к зачёту	К концу семестра	4	Тест	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				50		

### 4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

#### 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 B-сплайны. “Сшивки” сплайнов. Понятие дефекта сплайна. Особенности сплайнов на равномерной и неравномерной сетках. Понятие узла сплайна и узла интерполяции.

##### Тема 8. Локальные B-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 решение 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.

**4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудовое мкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	1	Визуализация данных.	4	практ. И твор. Задания, собес.	ОПК3.3
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.	4	практ. И твор. Задания, собес.	
6.	2	Основные понятия сплайн-функций.	4	практ. И твор. Задания, собес.	
7.	2	Локальные В-сплайны.	4	практ. И твор. Задания, собес.	
8.	2	Интерполяционные кубические сплайны.	4	практ. И твор. Задания, собес.	
9.	2	Сплайны с дефектом, отличным от 1.	4	практ. И твор. Задания, собес.	

10.	2	Приближение кривых.	6	практ. И твор. Задания, собес.
11.	3	Методы решение уравнений с начальными условиями (задача Коши)	6	практ. И твор. Задания, собес.
12.	3	Методы решения уравнений с граничными условиями (краевая задача).	6	практ. И твор. Задания, собес.

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	ИДК
1.	Все темы	Решение задачи на программирование	Написать программу	Вся рекомендуемая литература	ИДК ОПК.3.3
2.	Текущие консультации				

#### 4.4. 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 и тестов, 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.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не предусмотрены.



**V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)****а) перечень литературы***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.)

*дополнительная литература*

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. 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
3. Иванов, В.Б. Компьютерное моделирование и программирование [Текст] : учеб.пособие / В.Б. Иванов; М-во образования РФ. - Иркутск : Изд-во ИГУ.
  - Ч.1 : Основы компьютерного моделирования. - 2003. - 91 с. - Библиогр.: с.91. – (33 экз.)
  - Ч.2 : Язык программирования СИ. - 2003. - 68 с. - Библиогр.: с. 68. – (50 экз.)
  - Ч.3 : Инструментальные средства моделирования. - 2003. - 143 с. – (50 экз.)

б) *периодические издания*

- нет.

в) *список авторских методических разработок*

1. 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.)
2. В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

- • ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- • ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- • ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- • ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

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.

### **6.2. 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.

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Во время занятий для пояснения поставленных в практических работах заданий студентам демонстрируются на экране с помощью проектора дополнительные и вспомогательные материалы (презентации, типичные примеры)

## VII. 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 тестовым контролем оценки знаний, либо индивидуальными заданиями на практическом занятии. Студент в течение 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.

## VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не осуществляется.

### 8.1.2. 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 приведён 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 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

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

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  $B_{0,i}(x), B_{1,i}(x), B_{2,i}(x)$ .

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта с учётом выполненных за семестр практических заданий

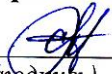
Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при защите готовой программы	Все темы	ОПК-3
2.	Подготовка к зачету	Все разделы	ОПК-3

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 составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ  
« 15 » марта 2023 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

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