

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Моделирование систем

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

09.03.02 - Информационные системы и технологии

---

Направленность образовательной программы

Информационные технологии в системах космической связи

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2021 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.17 Моделирование систем относится к обязательной части образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-6: Способен разрабатывать и применять системное и прикладное алгоритмическое программное обеспечение в различных областях применения информационных систем и технологий;	ПК-6.1: Знать особенности современных языков программирования при разработке прикладного программного обеспечения. ПК-6.2: Уметь использовать современные инструментальные средства программирования. ПК-6.3: Владеть навыками разработки и применения системного и прикладного алгоритмического программного обеспечения.	ПК-6.1: Знать основные типы данных C/C++/C#. Знать особенности компьютерных вычислений, связанные с ограничениями, возникающими при представлении чисел в ОС.  ПК-6.2: Уметь применять основные типы данных C/C++/C#, при разработке алгоритмического программного обеспечения. Уметь разрабатывать ПО, с учетом особенностей компьютерных вычислений.  ПК-6.3: Владеть навыками разработки ПО, являющееся инструментом проведения компьютерного эксперимента.	Исследовательское задание Тест	Курсовой проект Экзамен: Дискуссия
ОПК ОС-9: Способен применять алгоритмы обработки данных различной природы в различных сферах.	ОПК ОС-9.1: Знать основные алгоритмы и численные методы обработки данных. ОПК ОС-9.2: Уметь применять методы спектрального анализа, цифровой обработки данных в задачах моделирования физических процессов и	ОПК ОС-9.1: Знать основные методы построения математических моделей физических систем. Знать основные методы численного решения дифференциальных уравнений.  ОПК ОС-9.2: Уметь классифицировать	Исследовательское задание Тест	Курсовой проект Экзамен: Дискуссия

	обработки сигналов. ОПК ОС-9.3: Владеть навыками проведения исследований статистических характеристик алгоритмов обработки данных.	дифференциальные уравнения. Уметь применять методы построения математических моделей физических систем. Уметь применять основные методы численного решения дифференциальных уравнений.  ОПК ОС-9.3: Владеть навыками численного решения дифференциальных уравнений с начальными и граничными условиями, дифференциальных уравнений в частных производных.		
--	---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>7</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>252</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>28</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>58</b>
- КСР	<b>5</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>89</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>72</b> <b>экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Понятие системы. Типы систем.	12	2	4	6	6
Тема 2. Особенности вычислений на компьютере. Представление чисел в ЭВМ.	12	2	4	6	6

Тема 3. Эволюция систем во времени. Методы моделирования эволюционирующих систем.	12	2	4	6	6
Тема 4. Нелинейные системы с граничными условиями. Методы решения нелинейных задач.	12	2	4	6	6
Тема 5. Краевые задачи на собственные значения. Решение одномерного стационарного уравнения Шредингера	12	2	4	6	6
Тема 6. Одномерные системы с граничными условиями, эволюционирующие во времени.	13	2	4	6	7
Тема 7. Системы, описываемые уравнениями параболического типа. Уравнение теплопроводности.	13	2	4	6	7
Тема 8. Системы, описываемые уравнениями эллиптического типа. Уравнение Пуассона.	13	2	4	6	7
Тема 9. Физические системы со сложной геометрией. Построение адаптивной сетки узлов.	16	2	6	8	8
Тема 10. Моделирование систем методом конечных элементов.	24	4	8	12	12
Тема 11. Моделирование систем методом частиц.	12	2	4	6	6
Тема 12. Моделирование распространения электромагнитных волн. Метод FDTD.	24	4	8	12	12
Аттестация	72				
КСР	5			5	
Итого	252	28	58	91	89

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "-" (-).
- открытый онлайн-курс МООС "-" (-).

Иные учебно-методические материалы: -

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

##### 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

##### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Исследовательское задание) для оценки сформированности компетенции ПК-6

Написать программу, позволяющую проводить моделирование данной физической системы:

1. Тело массой  $m$  подвешено на тонкой невесомой спице длиной  $l$ . Точка подвеса совершает вертикальные гармонические колебания с частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ . Построить фазовую траекторию данного маятника. Показать, что в некотором диапазоне параметров верхняя точка равновесия маятника становится устойчивой. Исследовать влияние трения (сухого и вязкого) на движение маятника.
2. На стержень, вращающийся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , надето кольцо, к которому жестко прикреплен тонкая невесомая спица. На нижнем конце спицы закреплено тело массой  $m$ . Между кольцом и стержнем имеется сухое трение, коэффициент которого зависит от скорости (существует трение покоя большее трения скольжения). Построить семейство фазовых портретов этой системы и продемонстрируйте существование предельных циклов.
3. Пластина кремния толщиной  $L$  и диаметром  $D \gg L$  однородно легирована фосфором с концентрацией  $N_d$ . На лицевую и обратную стороны пластины нанесена металлическая пленка. Обратная сторона пластины заземлена, а на лицевую сторону подан потенциал  $V$ . Исследовать распределение потенциала в данной пластине при различных значениях  $L$ ,  $V$  и  $N_d$ .

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Исследовательское задание) для оценки сформированности компетенции ОПК ОС-9

1. Найти (численно) спектр значений энергии и стационарные волновые функции гармонического осциллятора.
2. Исследовать эволюцию волнового пакета в потенциальной яме гармонического осциллятора.
3. Цилиндрический сосуд высотой  $L$  и радиусом  $R$  заполнен жидкостью с теплопроводностью  $k_1$ . Толщина стенок сосуда  $d \ll R$ , теплопроводность стенок  $k_2$ . В верхней торцевой стенке сосуда смонтирован нагреватель, расположенный на оси цилиндра. Радиус нагревателя  $r_h \leq R$ , высота нагревателя -  $h$ , мощность нагревателя  $P_h$ . Температура внешней среды –  $T$ . На внешней границе сосуда поток тепла пропорционален разности температур границы и внешней среды. Провести моделирование процесса нагревания жидкости в сосуде после включения нагревателя.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Исследовательское задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнено исследовательское задание: написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, проведено исследование, написан отчет.
не зачтено	Не выполнено исследовательское задание: не написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы или не проведено исследование или не написан отчет.

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-6

1. Расчетным элементом в методе FDTD является
  - А) элемент линейного базиса
  - Б) «светящаяся» точка
  - В) ячейка  $\mathbf{Y}_i$
  - Г) макрочастица.
2. Наиболее точным методом реализации метода макрочастиц является метод
  - А) частица-частица
  - Б) частица-сетка
  - В) частица-частица-частица-сетка
  - Г) частица-сетка-частица
3. Метод эквипотенциальных линий, примененный к трехмерному графику вычисленного распределения некоторой физической величины может
  - А) исказить результаты расчетов
  - Б) повысить эргономичность графика
  - В) сгладить случайные выбросы

Г) выделить локальные свойства графика на фоне общих тенденций

Д) понизить быстродействие

Е) определить глобальный экстремум.

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ОПК ОС-9**

1. Единственный численный метод, позволяющий решать нелинейные дифференциальные уравнения с граничными условиями без проведения процедуры линеаризации и построения итерационного процесса называется

А) метод переменных направлений

Б) метод обратного проецирования

В) метод прогонки

Г) метод пристрелки.

2. Метод, позволяющий решать линейные дифференциальные уравнения, фигурирующий понятиями прямой ход и обратный ход называется

А) метод переменных направлений

Б) метод обратного проецирования

В) метод прогонки

Г) метод пристрелки.

3.

Явная схема численного решения уравнений в частных производных формируется на основе использования метода ... численного интегрирования

А) прямоугольников

Б) трапеций

В) Симпсона

Г) Гаусса.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)**

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
зачтено	Правильно решено более 80% теста.
не зачтено	Правильно решено менее 80% теста.

#### **5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации**

##### **Шкала оценивания сформированности компетенций**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Дискуссия

##### Экзамен

##### Критерии оценивания (Дискуссия - Экзамен)

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
превосходно	Дан развернутый и правильный ответ на поставленный вопрос. Даны корректные развернутые ответы на дополнительные вопросы, возникающие при дискуссии. Превосходное владение материалом.
отлично	Дан развернутый и правильный ответ на поставленный вопрос. Даны корректные ответы на дополнительные вопросы, возникающие при дискуссии.
очень хорошо	Дан правильный ответ на поставленный вопрос. Даны ответы на дополнительные вопросы, возникающие при дискуссии. Есть незначительные замечания к ответам на вопросы.
хорошо	Дан правильный ответ на поставленный вопрос. Даны ответы на дополнительные вопросы, возникающие при дискуссии. Есть замечания к ответам на вопросы.
удовлетворительно	Дан правильный ответ на поставленный вопрос. Не даны ответы на дополнительные вопросы, возникающие при дискуссии.
неудовлетворительно	Дан не правильный ответ на поставленный вопрос. Не даны ответы на дополнительные вопросы, возникающие при дискуссии.
плохо	Не даны ответы на вопросы.

**Типовые задания (Дискуссия - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-6** (Способен разрабатывать и применять системное и прикладное алгоритмическое программное обеспечение в различных областях применения информационных систем и технологий;)

1. Особенности компьютерных вычислений. Представление чисел в компьютере. Точность вычислений. Выбор единиц измерения физических величин при моделировании. Примеры выбора единиц измерения.
2. Использование графических возможностей компьютера для представления результатов измерения. Приведите примеры такого представления и объясните, каким образом это сказывается на исследовательском процессе.
3. Спроектируйте структуру классов и поведения объектов для решения задачи распространения электромагнитных волн методом FDTD в области, содержащей большое число рассеивающих структур сложной конфигурации.

**Типовые задания (Дискуссия - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ОПК ОС-9** (Способен применять алгоритмы обработки данных различной природы в различных сферах.)

1. Методы решения на ЭВМ уравнений параболического типа. Общая характеристика. Представление условий на границе области моделирования. Примеры систем.
2. Повышение скорости сходимости релаксационных методов решения уравнений поля. Ускорение по Чебышеву.
3. Алгоритмы построения изолиний в двумерной задаче теплопроводности.

**Оценочное средство - Курсовой проект**

**Критерии оценивания (Курсовой проект - Экзамен)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Выполнено задание курсового проекта: написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, проведено всеобъемлющее исследование, написан отчет.
отлично	Выполнено задание курсового проекта: написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, проведено исследование, написан отчет. Не допущены ошибки.
очень хорошо	Выполнено задание курсового проекта: написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, проведено исследование, написан отчет. Допущены несущественные ошибки.
хорошо	Выполнено задание курсового проекта: написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, проведено исследование, написан отчет. Допущены негрубые ошибки.
удовлетворительно	Выполнено задание курсового проекта: написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, проведено исследование, написан отчет. Допущено много негрубых ошибок.
неудовлетворительн	Не выполнено задание курсового проекта: не написана программа,

Оценка	Критерии оценивания
о	позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы или не проведено исследование или не написан отчет.
плохо	Не выполнено задание курсового проекта: не написана программа, позволяющая проводить исследование обозначенной в задании физической системы, не проведено исследование, не написан отчет.

Примерный перечень тем оценочного средства – Курсовой проект:

1. Моделирование изменения систем во времени.
2. Краевые задачи на собственные значения. Метод дифференциальной прогонки.
3. Краевые задачи на собственные значения. Метод тригонометрической прогонки.
4. Моделирование систем, описываемых одномерным параболическим дифференциальным уравнением.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Гринь Илья Владимирович. Моделирование физических процессов и систем : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.02 "Физика", 11.03.04 "Электроника и нанoeлектроника", 28.03.01 "Нанотехнология и микросистемная техника", 09.03.02 "Информационные системы и технологии". Ч. 3 : Конечные разности, конечные элементы, макрочастицы / И. В. Гринь, О. А. Морозов, Ю. А. Семин ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2016. - 42 с., 20 экз.
2. Морозов Олег Александрович. Моделирование физических процессов и систем : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 011200 "Физика", 210100 "Электроника и нанoeлектроника", 222900 "Нанотехнология и микросистемная техника", 230400 "Информационные системы и технологии". Ч. 2 : Моделирование систем с несколькими пространственными измерениями / О. А. Морозов, Ю. А. Семин ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2014. - 43 с., 20 экз.
3. Морозов Олег Александрович. Моделирование физических процессов и систем : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 011200 "Физика", 210100 "Электроника и нанoeлектроника", 230400 "Информационные системы и технологии". Ч. 1 / О. А. Морозов, Ю. А. Семин ; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2013. - 51 с., 30 экз.

Дополнительная литература:

1. Гулд Харви. Компьютерное моделирование в физике : [в 2 ч.]. Ч. 1 / пер. с англ. А. Н. Полюдова, В. А. Панченко. - М. : Мир , 1990. - 349 с. : ил. - ISBN 5-03-001593-0 : 2.20., 2 экз.
2. Гулд Харви. Компьютерное моделирование в физике : [в 2 ч.]. Ч. 2 / пер. с англ. А. Н. Полюдова, В. А. Панченко. - М. : Мир , 1990. - 399 с. : ил. - ISBN 5-03-001594-9 : 2.50., 2 экз.
3. Хокни Роджер. Численное моделирование методом частиц / пер. с англ. А. С. Липатова, А. Н. Полюдова ; под ред. Р. З. Сагдеева, В. И. Шевченко. - М. : Мир, 1987. - 638 с. : ил. - 4.10., 3 экз.

4. Флетчер Клайв. Численные методы на основе метода Галёркина / пер. с англ. Л. В. Соколовской ; под ред. В. П. Шидловского. - М. : Мир, 1988. - 352 с. : ил. - 1.80., 2 экз.
5. На Цунг-Йен. Вычислительные методы решения прикладных граничных задач / пер. с англ. В. Е. Кондрашова и др. ; под ред. И. Д. Софронова. - М. : Мир, 1982. - 294 с. : ил. - 1.30., 2 экз.
6. Поттер Д. Вычислительные методы в физике / пер. с англ. Г. В. Переверзева ; под ред. Ю. Н. Днестровского. - М. : Мир, 1975. - 392 с. - 1.40., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не используется

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 09.03.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Гринь Илья Владимирович.

Заведующий кафедрой: Фидельман Владимир Романович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.