

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 Утверждено

решением Ученого совета ННГУ
протокол от «31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Моделирование систем

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки / специальность
09.03.02 Информационные системы и технологии

Направленность образовательной программы
**Информационные системы и технологии в физических
исследованиях**

Форма обучения
очная

Год начала подготовки

2022 год

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Моделирование систем» (Б1.В.11) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана основной образовательной программы.

Дисциплина преподается в 7 и 8 семестре.

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**	
ПК-14. Способен обосновывать правильность выбранной модели, сопоставляя результаты экспериментальных данных и полученных решений в области применения информационных технологий в физических исследованиях и смежных областях	ПК-14.1. Знать основные методы обработки и сравнения результатов экспериментальных данных и полученных решений.	<i>Знать</i> основные допущения, используемые при построении физической, математической и численной модели реальной системы. <i>Знать</i> основные методы построения математических моделей физических систем. <i>Знать</i> критерии выбора численных методов. <i>Знать</i> основные методы графического отображения результатов.	Экзамен
	ПК-14.2. Уметь обосновывать правильность выбранной модели.	<i>Уметь</i> формировать физическую, математическую и численную модель реальной системы. <i>Уметь</i> применять критерии выбора численных систем. <i>Уметь</i> применять основные методы графического отображения результатов.	Задача (практическое задание), зачет, экзамен
	ПК-14.3. Владеть опытом выбора и обоснования правильности выбранной модели, сопоставления результатов экспериментальных данных и полученных решений.	<i>Владеть</i> опытом построения моделей систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями с начальными и граничными условиями, дифференциальными уравнениями в частных производных.	Задача (практическое задание), экзамен
ПК-6. Способен разрабатывать и применять	ПК-6.1. Знать особенности современных языков	<i>Знать</i> основные типы данных C/C++/C#. <i>Знать</i> особенности компьютерных	Экзамен

системное и прикладное алгоритмическое программное обеспечение в различных областях применения информационных систем и технологий	программирования при разработке прикладного программного обеспечения.	вычислений, связанные с ограничениями, возникающими при представлении чисел в ОС.	
	ПК-6.2. Уметь использовать современные инструментальные средства программирования.	<i>Уметь</i> применять основные типы данных C/C++/C#, при разработке алгоритмического программного обеспечения. <i>Уметь</i> разрабатывать ПО, с учетом особенностей компьютерных вычислений.	Задача (практическое задание), зачет, экзамен
	ПК-6.3. Владеть навыками разработки и применения системного и прикладного алгоритмического программного обеспечения.	<i>Владеть</i> навыками разработки ПО, являющееся инструментом проведения компьютерного эксперимента.	Задача (практическое задание)
ПК-15. Способен применять современный математический аппарат при проведении, моделировании и анализе результатов компьютерного или натурного эксперимента	ПК-15.1. Знать современный математический аппарат, используемый при разработке компьютерных моделей и анализе результатов.	<i>Знать</i> основную классификацию дифференциальных уравнений. <i>Знать</i> основные методы построения математических моделей физических систем. <i>Знать</i> основные методы численного решения дифференциальных уравнений.	Экзамен
	ПК-15.2. Уметь применять современный математический аппарат при проведении, моделировании и анализе результатов компьютерного или натурного эксперимента	<i>Уметь</i> классифицировать дифференциальные уравнения. <i>Уметь</i> применять методы построения математических моделей физических систем. <i>Уметь</i> применять основные методы численного решения дифференциальных уравнений.	Задача (практическое задание), зачет, экзамен
	ПК-15.3. Владеть навыками применения современных аналитических и численных методов в решении профессиональных задач.	<i>Владеть</i> навыками численного решения дифференциальных уравнений с начальными и граничными условиями, дифференциальных уравнений в частных производных.	Задача (практическое задание)

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	92
- занятия лекционного типа, ч	29
- практические занятия, ч	58
- лабораторных, ч	
- КСРИФ, ч	5
контроль	90
самостоятельная работа, ч	70
Промежуточная аттестация	зачет в 7 семестре и экзамен в 7 и 8 семестрах

3.2.Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Понятие системы. Типы систем.	15	2	4	-	6	7
Тема 2. Особенности вычислений на компьютере. Представление чисел в ЭВМ.	16	2	4	-	6	7
Тема 3. Эволюция систем во времени. Методы моделирования эволюционирующих систем.	14	2	4	-	6	7
Тема 4. Нелинейные системы с граничными условиями. Методы решения нелинейных задач.	24	2	4	-	6	7
Тема 5. Краевые задачи на собственные значения. Решение одномерного стационарного уравнения Шредингера	18	2	4	-	6	7

Тема 6. Одномерные системы с граничными условиями, эволюционирующие во времени.	22	2	4	-	6	7
Тема 7. Системы, описываемые уравнениями параболического типа. Уравнение теплопроводности.	16	2	4	-	6	7
Тема 8. Системы, описываемые уравнениями эллиптического типа. Уравнение Пуассона.	16	2	4	-	6	8
Тема 9. Физические системы со сложной геометрией. Построение адаптивной сетки узлов	27	2	4	-	6	12
Тема 10. Моделирование систем методом конечных элементов	14	4	8	-	12	21
Тема 11. Моделирование систем методом частиц.	36	3	6	-	9	12
Тема 12. Моделирование распространения электромагнитных волн. Метод FDTD	14	4	8	-	12	21
<u>Итого</u>	Error! Reference not found.	29	Error! Reference not found.	Error! Reference not found.	Error! Reference not found.	72

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме -зачет в 7 семестре и экзамен в 7 и 8 семестрах.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В процессе самостоятельной работы, обучающиеся активно используют методические руководства, подготовленные в рамках данной дисциплины. Учащиеся выполняют индивидуальные задания по компьютерному моделированию различных систем, составляют письменные отчёты по результатам моделирования (в электронной форме). Отчеты о результатах моделирования обсуждаются с преподавателем.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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 незначительными 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 владения материалом. 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
--------	--------------------

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	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»
незачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Контрольные вопросы

№	Вопросы	Код формируемой компетенции
1	Системы: определение, виды, способы описания.	ПК-14
2	Место компьютерного моделирования среди других подходов к исследованию физических систем.	ПК-14
3	Особенности компьютерных вычислений. Предельная точность вычислений на компьютере.	ПК-6
4	Моделирование изменения систем во времени. Методы решения на компьютере обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными условиями. Критерии выбора метода.	ПК-15

5	Решение одномерных краевых задач. Краевые задачи на собственные значения.	ПК-15
6	Методы решения на компьютере одномерного параболического уравнения.	ПК-15
7	Метод нахождения собственных значений энергии и собственных волновых функций по данному численному решению нестационарного уравнения Шредингера.	ПК-15
8	Многомерные уравнения параболического типа. Моделирование распространения тепла в 2-ух и 3-ех измерениях.	ПК-15
9	Методы численного решения двумерного уравнения Пуассона.	ПК-15
10	Построение изолиний и силовых линий для графического представления результатов моделирования.	ПК-14
11	Построение двумерной произвольной сетки узлов для решения уравнения Пуассона. Триангуляция Делоне.	ПК-14
12	Метод конечных элементов в формулировке Галёркина. Кусочно – непрерывный базис.	ПК-15
13	Метод FDTD численного решения уравнений Максвелла.	ПК-15
14	Граничные условия на Беренджера на внешней границе области моделирования.	ПК-15
15	Моделирование систем методом частиц.	ПК-15

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-6, ПК-14, ПК-15

1. Тело массой m подвешено на тонкой невесомой спице длиной l . Точка подвеса совершает вертикальные гармонические колебания с частотой ω 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 ω , 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 больше 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 .
4. Найти (численно) спектр значений энергии и стационарные волновые функции гармонического осциллятора.
5. Исследовать эволюцию волнового пакета в потенциальной яме гармонического осциллятора.
6. 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.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Морозов О.А., Сёмин Ю.А. Моделирование физических процессов и систем. Часть 1: учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет 2013– 51с., 20 экз.
2. Морозов О.А., Сёмин Ю.А. Моделирование физических процессов и систем. Часть 2. Моделирование систем с несколькими пространственными измерениями: учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет 2014. – 43с., 20 экз.
3. Гринь И.В., Морозов О.А., Семин Ю.А. Моделирование физических процессов и систем. Часть 3. Конечные разности, конечные элементы, макрочастицы: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. - 42 с., 20 экз.

б) дополнительная литература:

1. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику: Учебное пособие для вузов / Р. П. Федоренко / Под ред. А. И. Лобанова. — 2-е изд., испр. и доп. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. — 504 с.. 3 экз.
2. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: Часть 1. М. Мир 1991 – 350с., 2 экз.
3. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: Часть 2.: М. Мир 1991 – 401с., 2 экз.
4. Поттер Д. Методы вычислительной физики. М. Наука 1975 – 392с.<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Potter1975ru.djvu>
5. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц: Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 640 с., 3 экз.
6. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 320 с.<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN592210120.html>
7. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галёркина: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 352 с., 4 экз.
8. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. 2-е изд. –М.: Научный мир, 2003.-316 с.. 1 экз.
9. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики М: Наука 1989г.– 536с.<https://e.lanbook.com/reader/book/255/#2>
10. На Ц. Вычислительные методы решения прикладных граничных задач: Пер. с англ.—М.: Мир, 1982 – 296 с., 2 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: проектор с экраном – для проведения лекционных занятий, 12 компьютеров для проведения практических занятий.

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 ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии».

Автор:

Ассистент каф. ИТФИ

Гринь И. В.

Рецензент

д.ф.-м.н., профессор, зав. каф.
статистической радиофизики и
мобильных систем связи РФФ

Мальцев А.А.

Заведующий кафедрой ИТФИ
д.т.н., профессор

Фидельман В.Р.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета ННГУ.

Председатель УМК физ.ф-та _____ Перов А.А.