

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**Институт информационных технологий, математики и механики**

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
от 30.11.2022 г. протокол № 13

## **Рабочая программа дисциплины**

### **Прикладная нелинейная динамика**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**010402 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Нижний Новгород  
2022

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

### Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.О.05) читается во втором семестре магистратуры, относится к обязательной части. Дисциплина опирается на основные теоретические понятия и прикладные знания, полученные в рамках изучения дисциплин: «Математический анализ» (понятия: производная, интеграл, экстремумы функции), «Алгебра и геометрия» (понятия: собственные числа и собственные вектора матрицы), «Дифференциальные уравнения» (классификация, свойства, методы решения).

### Цель освоения дисциплины

Предметом рассмотрения дисциплины являются численные методы исследования динамических систем, решающие задачи отыскания состояний равновесия, исследования их устойчивости, численного моделирования динамики систем, Флоке-анализа нестационарных систем. Цель курса состоит в изучении соответствующих вычислительных методов и подходов, часто применяемых в решении прикладных задач физики и математической биологии. Особое внимание уделяется формированию у студентов навыков реализации и применения рассматриваемых методов к исследованию конкретных математических моделей. Задачей дисциплины является теоретическое и практическое освоение вышеупомянутых численных методов.

## 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	
ОПК-2 Способность совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1. Знать математические методы решения прикладных задач	<b>ЗНАТЬ</b> Базовые алгоритмы вычислительной математики для решения задач нелинейной динамики, условия их применимости.	Вопросы и практические задания
	ОПК-2.2. Уметь применять математические методы решения прикладных задач	<b>УМЕТЬ</b> – Определять и профессионально реализовывать необходимые для решения прикладных задач нелинейной динамики вычислительные алгоритмы, анализировать полученные результаты. – Профессионально разрабатывать и использовать программное обеспечение для решения прикладных задач нелинейной динамики. – Проводить процедуры оценки	Вопросы и практические задания

		корректности работы реализуемых численных методов.	
	ОПК-2.3. Владеть навыками решения прикладных задач	ВЛАДЕТЬ Вычислительными методами нелинейной динамики.	Вопросы и практические задания
ПК-3 Способен представлять результаты проведенной работы в области профессиональной деятельности	ПК-3.1 Знать методы подготовки отчетов, статей, докладов, презентаций, публикаций по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности	ЗНАТЬ Способы описания базовых структур данных и алгоритмов.	Вопросы и лабораторные работы
	ПК-3.2. Уметь оформлять отчеты, статьи, доклады, презентации по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности	УМЕТЬ Готовить отчетную документацию на разработанное программное обеспечение для решения прикладных задач.	Вопросы и лабораторные работы
	ПК-3.3 Иметь опыт подготовки отчетов, докладов, статей, презентаций по результатам проведенной работы в области профессиональной деятельности.	ВЛАДЕТЬ – Навыками подготовки докладов по разработанному программному обеспечению для решения прикладных задач.	Вопросы и лабораторные работы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>6 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	66
– занятия лекционного типа	32
– занятия семинарского типа	32
– занятия лабораторного типа	0
– текущий контроль (КСР)	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>114</b>
<b>Промежуточная аттестация: экзамен</b>	<b>36</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

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	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
Состояния равновесия и устойчивость.	34	6	6		12	22
Бифуркации.	35	6	6		12	23
Численное интегрирование сосредоточенных динамических систем.	35	6	6		12	23
Флоке-анализ линейных неавтономных консервативных систем.	37	7	7		14	23
Хаотическая динамика.	37	7	7		14	23
Текущий контроль (КСР)	2				2	
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
<b>Итого</b>	<b>216</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		<b>66</b>	<b>114</b>

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме экзамена.

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

Самостоятельная работа студентов выполняется в виде практических работ по темам:

- «Численное исследование состояний равновесия и их устойчивости»
- «Численное исследование бифуркаций»
- «Численное интегрирование динамических уравнений»
- «Численное исследование периодически модулированных динамических систем»
- «Численный анализ хаотической динамики»

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, 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. Невозможно 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, 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 несущественным 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
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»
Не зачтено	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

Вопрос	Код компетенции
1. Состояния равновесия и устойчивость.	ОПК-2
2. Решение нелинейных алгебраических уравнений: метод деления отрезка пополам, метод Ньютона. Решение систем нелинейных алгебраических уравнений.	ОПК-2
3. Численное исследование устойчивости состояний равновесия. Случаи би- и мультистабильности.	ОПК-2
4. Бифуркации. Бифуркационные условия на примере бифуркаций Андронова-Хопфа и трехкратного состояния равновесия. Численное отыскание бифуркационных кривых методом продолжения.	ОПК-2
5. Численное интегрирование сосредоточенных динамических систем. Метод Эйлера, метод Рунге-Кутты 4-го порядка, симплектические методы.	ОПК-2
6. Точность численного метода, зависимость от шага интегрирования, выбранного метода, размерности динамической системы для диссипативных и консервативных систем.	ПК-3
7. Флоке-анализ линейных неавтономных консервативных систем. Отыскание матрицы Флоке, квазиэнергий, состояний Флоке, оценка точности.	ПК-3
8. Хаотическая динамика. Численное определение показателей Ляпунова.	ПК-3

### **5.2.2. Типовые темы практических заданий для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

**Задание 1.** Численное исследование состояний равновесия и их устойчивости.

Реализовать метод дихотомии и метод Ньютона для отыскания состояний равновесия в одномерных нелинейных динамических системах. Применить к исследованию математической модели генного авторепрессора, получить зависимость координаты состояния равновесия от параметров системы. Сравнить сходимость реализованных методов.

### **5.2.3. Типовые темы практических заданий для оценки сформированности компетенции ПК-3**

**Задание 1.** Численное исследование периодически модулированных динамических систем.

Исследовать статистические свойства случайных матриц гауссовского ортогонального ансамбля и гауссовского эрмитового ансамбля. Сравнить статистику собственных чисел и расщепления уровней с теоретическими предсказаниями. Реализовать алгоритм отыскания состояний Флоке. На примере рассмотренных случайных матриц исследовать зависимость статистики энергий состояний Флоке от амплитуды периодической модуляции.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

- Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. - М.: Наука, 1984. - 432 с. (160 экз.).
- Кузнецов С.П. Динамический хаос. - М.: Физматлит, 2006. - 356 стр. <http://www.sgtnd.narod.ru/pabl/rus/dc.htm>.
- Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. - Лань, 2010. - 400 стр. (30 экз.).

б) дополнительная литература:

- Лаптева Т.В., Иванченко М.В. Математические модели генной регуляции: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. - 24 с. – [http://www.unn.ru/books/met\\_files/LI.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/LI.pdf).
- Лаптева Т.В., Иванченко М.В., С.В. Денисов. Математические методы исследования нестационарных квантовых систем: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. - 31 с. – [http://www.unn.ru/books/met\\_files/LID.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/LID.pdf).

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- Электронная физико-математическая библиотека EqWorld. Ресурс открытого доступа. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/other.htm>.
- Математический пакет Scilab. Открытое программное обеспечение. <http://www.scilab.org>.

- Математический пакет Octave. Открытое программное обеспечение.  
<https://www.gnu.org/software/octave>.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Авторы:

М.В. Иванченко

С.В. Денисов

Т.В. Лаптева

Заведующий кафедрой М.В. Иванченко

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.