

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Качественно-численные методы исследования нелинейных
динамических систем

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы
Радиофизика и электроника

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.05 Качественно-численные методы исследования нелинейных динамических систем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Применять теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, ПК-1.2: Осваивать новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	Задания Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные,	ПК-2.1: Анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов+ ПК-2.2: Выбирать и применять аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задачи

	формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	ПК-2.3: Анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики		
--	---	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование 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	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Исследование состояний равновесия многомерных нелинейных динамических систем и их бифуркаций	12		6	6	6
Тема 2. Исследования нелинейных динамических моделей путем построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций	9		4	4	5
Тема 3. Исследования нелинейных динамических моделей методом отображения Пуанкаре	8		4	4	4
Тема 4. Исследование периодических движения многомерных динамических систем и их бифуркации	10		4	4	6

Тема 5. Исследование гомоклинических и гетероклинических бифуркаций динамических систем	9		4	4	5
Тема 6. Странные аттракторы и способы их исследования	9		4	4	5
Тема 7. Динамика конкретных динамических систем	14		6	6	8
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел I. Состояния равновесия многомерных нелинейных динамических систем и их бифуркации. Практические алгоритмы изучения состояний равновесия: поиск координат состояний равновесия, определение их типа, вычисление бифуркационных значений параметров и построение бифуркационных кривых, алгоритмы вычисления первой ляпуновской величины функционального модуля «Состояния равновесия» программного комплекса ДНС (Динамика Нелинейных Систем).

Раздел II. Исследования нелинейных динамических моделей путем построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций. Численные методы интегрирования систем ОДУ (одношаговые, многошаговые, жестких и стохастических систем), основные принципы построения программ численного интегрирования. Особенности представления фазовых траекторий динамических систем с цилиндрическим и тороидальным фазовыми пространствами. Технология исследования нелинейных динамических моделей путем численного построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций. Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Фазовые портреты» программного комплекса ДНС.

Раздел III. Метод отображений Пуанкаре, его роль при изучении непрерывных динамических систем. Алгоритмы численного построения отображения Пуанкаре, особенности построения для систем с циклическими координатами. Технология исследования динамических систем путем численного построения отображения Пуанкаре. Структура, функциональные возможности и правила работы функциональных модулей «Точечные отображения» и «Бифуркационные диаграммы отображения Пуанкаре» программного комплекса ДНС.

Раздел IV. Периодические движения многомерных динамических систем и их бифуркации. Практические алгоритмы изучения периодических движений: алгоритмы поиска периодических движений (методы простой итерации, секущих, Ньютона, сеток) и определения их типа (вычисление мультипликаторов), принципы построения бифуркационных кривых. Технология изучения периодических движений динамических систем с помощью функциональных модулей «Периодические движения» и «Бифуркационные кривые периодических движений» программного комплекса ДНС.

Раздел V. Гомоклинические и гетероклинические бифуркации динамических систем. Структура фазового и параметрического пространства в окрестности бифуркационных кривых, соответствующих гомоклиническим и гетероклиническим траекториям. Алгоритм построения бифуркационных кривых, соответствующих совпадению сепаратрис седловых состояний равновесия многомерных динамических систем. Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Сепаратрисные связи» программного комплекса ДНС.

Раздел VI. Практические занятия по применению информационных технологий, базирующихся на методах теории нелинейных колебаний.

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий практического типа. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

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

Практические 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.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения аудиторных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Используя достижения современной теории нелинейных колебаний способен анализировать принципы работы современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, с дальнейшим построением схем оптимальной эксплуатации соответствующей аппаратуры

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	знать основные понятия современной теории нелинейных колебаний, определения особых

Оценка	Критерии оценивания
	траекторий и бифуркаций
не зачтено	Отсутствие знаний основных понятий современной теории нелинейных колебаний, определения особых траекторий и бифуркаций

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Используя достижения современной теории нелинейных колебаний способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Способен осваивать и применять современные методы теории нелинейных колебаний для проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины, может решить задачу из практических контрольных занятий
не зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, не знает основные понятия и определения из материала дисциплины, не может решить задачу из практических контрольных занятий

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор 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 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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Классификация состояний равновесия многомерных нелинейных динамических систем
2. Бифуркации состояний равновесия многомерных нелинейных динамических систем
3. Классификация периодических решений многомерных нелинейных динамических систем
4. Бифуркации периодических решений многомерных нелинейных динамических систем
5. Исследования нелинейных динамических моделей путем построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций.
6. Численные методы интегрирования систем ОДУ.
7. Особенности представления фазовых траекторий динамических систем с цилиндрическим и тороидальным фазовыми пространствами.
8. Технология исследования нелинейных динамических моделей путем численного построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций.
9. Метод отображений Пуанкаре, его роль при изучении непрерывных динамических систем.
10. Алгоритмы численного построения отображения Пуанкаре, особенности построения для систем с циклическими координатами
11. Технология исследования динамических систем путем численного построения отображения Пуанкаре.
12. Структура, функциональные возможности и правила работы функциональных модулей «Точечные отображения» и «Бифуркационные диаграммы отображения Пуанкаре» программного комплекса ДНС.
13. Практические алгоритмы изучения периодических движений: алгоритмы поиска периодических движений и определения их типа, принципы построения бифуркационных кривых.

Технология изучения периодических движений динамических систем с помощью функциональных модулей «Периодические движения» и «Бифуркационные кривые периодических движений» программного комплекса ДНС.

14. Странные аттракторы.
15. Бифуркационные механизмы перехода к хаосу и метод идентификации их в численном эксперименте.
- 16.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Практические алгоритмы изучения состояний равновесия.

2. Структура, функциональные возможности и правила работы программного комплекса функционального модуля «Состояния равновесия» программного комплекса ДНС
3. Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Фазовые портреты» программного комплекса ДНС.
4. Периодические движения многомерных динамических систем и их бифуркации.
5. Гомоклинические и гетероклинические бифуркации динамических систем.
6. Структура фазового и параметрического пространства в окрестности бифуркационных кривых, соответствующих гомоклиническому и гетероклиническому траекториям.
7. Алгоритм построения бифуркационных кривых, соответствующих совпадению сепаратрис седловых состояний равновесия многомерных динамических систем.
8. Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Сепаратрисные связи» программного комплекса ДНС.
9. Способы и алгоритмы идентификации странных аттракторов в численном эксперименте.
10. Методы и подходы выделения областей параметров, соответствующих хаотическому поведению динамической системы
11. Структура, функциональные возможности и правила работы функциональных модулей «Ляпуновские характеристические показатели» и «Спектры и автокорреляционные функции» программного комплекса ДНС.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины, может решить задачу из практических контрольных занятий
не зачтено	Студент после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, либо не знает основные понятия и определения из материала дисциплины, не может решить задачу из практических контрольных занятий.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Для зачета необходимо решить задачу из списка задач для текущего контроля

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Для зачета необходимо решить задачу из списка задач для текущего контроля

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины, может решить задачу из практических контрольных

Оценка	Критерии оценивания
	занятий
не зачтено	Студент после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, либо не знает основные понятия и определения из материала дисциплины, не может решить задачу из практических контрольных занятий.

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

Основная литература:

1. Матросов Валерий Владимирович. Динамический хаос в фазовых системах : учеб. пособие. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2007. - 258 с. - В надзаг.: Приоритетный национальный проект "Образование". Инновац. образоват. программа Нижегород. ун-та: Образоват.-науч. центр "Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое обеспечение" . - ISBN 978-591326-022-3 : 58.02., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Пономаренко Валерий Павлович. Моделирование динамических процессов в автогенераторных системах с частотным управлением : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : ННГУ, 1997. - 114 с. - 20.00., 3 экз.
2. Неймарк Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. - М. : Наука, 1972. - 471 с. - 1.89., 51 экз.

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

-

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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Матросов Валерий Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Матросов Валерий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.