

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 8 от 24.09.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Спецлаборатория-моделирование динамики нелинейных 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.04.05 Спецлаборатория-моделирование динамики нелинейных 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: Знать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования. Уметь применять современную радиоэлектронную аппаратуру и оборудование.  ПК-1.2: Владеть методами эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
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	ПК-2.1: Знать методы радиофизических измерений.  ПК-2.2: Уметь применять методы радиофизических измерений при анализе динамических процессов нелинейных систем.  ПК-2.3: Владеть методами радиофизических измерений при анализе динамических процессов нелинейных систем	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	полученные данные, формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики			
ПК-3: Способен обрабатывать, оформлять и представлять результаты исследований и разработок в области радиофизики	ПК-3.1: Обрабатывает результаты радиофизических исследований ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу	ПК-3.1: Знать информационные технологии, базирующиеся на современных методах качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций.  ПК-3.2: Уметь применять информационные техноло-гии, базирующиеся на методах качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций для анализа физических явлений и процессов. Владеть информационными технологиями, базирующиеся на современных методах качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>22</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>49</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Компьютерное исследование модели генератора Чуа.	44		14	14	30
Экспериментальное исследование колебаний генератора Чуа.	12		2	2	10
Моделирование динамики и расчет динамических характеристик системы ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром	15		6	6	9
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	0	22	23	49

### Содержание разделов и тем дисциплины

Лабораторная работа 1: «Компьютерное исследование модели генератора Чуа»

Задания:

На плоскости двух активных параметров (плоскость активных задается преподавателем) модели генератора Чуа.

- построить бифуркационные кривые смены устойчивости состояний равновесия О1 и О3.
- на бифуркационных кривых смены устойчивости состояний равновесия определить участки мягкого и жесткого возбуждения автоколебаний.
- на участке жесткого возбуждения колебаний найти границу возникновения автоколебаний;
- построить бифуркационные кривые, отвечающие первому и второму удвоению редельных циклов L1 и L2 вокруг состояний равновесия О1 и О3
- для фиксированного значения одного из активных параметров найти первые четыре бифуркационных значения второго параметра и вычислить постоянную Фейгенбаума. По вычисленным значениям спрогнозировать пороговое значение второго параметра, при превышении которого в модели генератора Чуа возникают хаотические колебания.
- задав значение второго параметра выше порогового, убедиться, что возникающие в модели генератора Чуа колебания являются хаотическими;
- для фиксированного значения одного из фиксированных параметров построить однопараметрические бифуркационные диаграммы отображения Пуанкаре при увеличении и уменьшении второго активного параметра.
- На диаграммах указать регулярные окна в области хаоса, определить интервалы хаотических колебаний, регулярных «окон», существования двух спирального аттрактора.
- вычислить характеристики двух спирального аттрактора, сравнить их с характеристиками односпирального аттрактора;
- построить кривую, отвечающую возникновению автоколебаний большой амплитуды.

Лабораторная работа 2: «Экспериментальное исследование колебаний генератора Чуа»

Задания:

- Получить фазовые портреты и осциллограммы колебаний генератора Чуа с кусочно-линейной характеристикой диода;
- Проследить и зафиксировать (качественно зарисовать, сфотографировать) эволюцию автоколебательных режимов при изменении параметров резистора  $R$  как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения;
- Найти значения параметров  $R$  при которых: возникают колебания, колебания удваиваются. Замерить амплитуду и период колебаний до и после удвоения периода.
- Определить интервалы параметра  $R$ , соответствующие регулярным и хаотическим колебаниям, хаотическим двух спиральным колебаниям.
- Найти зоны бистабильного поведения, гистерезис.
- Сравнить результаты натурального эксперимента с результатами компьютерного моделирования.

Лабораторная работа 3: «Моделирование динамики и расчет динамических характеристик системы ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром»

Задания:

- Для заданного значения параметра  $n$  и определенной характеристики фазового дискриминатора (синусоидальной, трапецеидальной, пилообразной) построить грубые фазовые портреты модели ФАП с ПИФ для областей  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ , сохранить их графические образы и файлы настройки.
- Для заданного значения параметра  $n$  и определенной характеристики фазового дискриминатора рассчитать границу области захвата в режим синхронизации.

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.

Подготовка по вопросам текущего контроля.

#### **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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Система ЧУА: структурные схемы, математическая модель, динамические режимы.
2. Системы ФАП: структурные схемы, принцип работы, математические модели, динамические режимы.
3. Классификация состояний равновесия многомерных нелинейных динамических систем и их бифуркации.
4. Практические алгоритмы изучения состояний равновесия.
5. Структура, функциональные возможности и правила работы программного функционального модуля «Состояния равновесия» программного комплекса ДНС (Динамика Нелинейных Систем).
6. Исследования нелинейных динамических моделей путем построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций.
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.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Фазовые портреты» программного комплекса ДНС.
2. Метод отображений Пуанкаре, его роль при изучении непрерывных динамических систем.
3. Алгоритмы численного построения отображения Пуанкаре, особенности построения для систем с циклическими координатами.
4. Технология исследования динамических систем путем численного построения отображения Пуанкаре.
5. Структура, функциональные возможности и правила работы функциональных модулей «Точечные отображения» и «Бифуркационные диаграммы отображения Пуанкаре» программного комплекса ДНС.
6. Периодические движения многомерных динамических систем и их бифуркации.
7. Практические алгоритмы изучения периодических движений: алгоритмы поиска периодических движений и определения их типа, принципы построения бифуркационных кривых.
8. Технология изучения периодических движений динамических систем с помощью функциональных модулей «Периодические движения» и «Бифуркационные кривые периодических движений» программного комплекса ДНС.

### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

1. Гомоклинические и гетероклинические бифуркации динамических систем.

2. Структура фазового и параметрического пространства в окрестности бифуркационных кривых, соответствующих гомоклиническим и гетероклиническим траекториям.
3. Алгоритм построения бифуркационных кривых, соответствующих совпадению сепаратрис седловых состояний равновесия многомерных динамических систем.
4. Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Сепаратрисные связи» программного комплекса ДНС.
5. Хаотическое поведение. Способы идентификации хаотического поведения в эксперименте.
6. Странные аттракторы. Способы и алгоритмы идентификации странных аттракторов в численном эксперименте.
7. Бифуркационные механизмы перехода к хаосу и метод идентификации их в численном эксперименте.
8. Методы и подходы выделения областей параметров, соответствующих хаотическому поведению динамической системы.
9. Структура, функциональные возможности и правила работы функциональных модулей «Ляпуновские характеристические показатели» и «Спектры и автокорреляционные функции» программного комплекса ДНС.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

#### 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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место	Минимально допустимый уровень знаний.	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, превышающем программу

	оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки	Допущено много негрубых ошибок	программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	программе подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок	программе подготовки и. Ошибок нет.	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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами .	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы 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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	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»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	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

Система ЧУА: структурные схемы, математическая модель, динамические режимы.

Системы ФАП: назначение, принцип работы, структурная схема, элементы структурной схемы, динамические режимы и характеристики.

Назначение, принципы работы и методы эксплуатации осциллографа

Назначение, принципы работы и методы эксплуатации спектроанализатора

Получить математическую модель система Чуа

Получить общие уравнения системы ФАП

Составить математическую модель системы ФАП с различными типами фильтров в цепи управления

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

Назначение и возможности осциллографа при анализе динамических процессов нелинейных электрических цепей

Назначение и возможности спектроанализатора при анализе динамических процессов нелинейных электрических цепей

Настроить осциллограф на анализ динамических процессов генератора Чуа

Построить фазовые портреты динамических процессов генератора Чуа

Построить осциллограммы динамических процессов генератора Чуа

#### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Технология исследования нелинейных динамических моделей путем численного построения проекций фазовых траекторий и временных реализаций.

Практические алгоритмы изучения состояний равновесия.

Структура, функциональные возможности и правила работы программного комплекса функционального модуля «Состояния равновесия» программного комплекса ДНС

Структура, функциональные возможности и правила работы функционального модуля «Фазовые портреты» программного комплекса ДНС.

Алгоритмы численного построения отображения Пуанкаре, особенности построения для систем с циклическими координатами

Структура, функциональные возможности и правила работы функциональных модулей «Ляпуновские характеристические показатели» и «Спектры и автокорреляционные функции» программного комплекса ДНС.

Найти стационарные состояния генератора Чуа, рассчитать условия их устойчивости

Определить период и амплитуду периодических колебаний

Вычислить мультипликаторы предельного цикла

Продемонстрировать бифуркацию удвоения периода периодического решения

Построить фазовый портрет модели второго порядка

Вычислить характеристики хаотического аттрактора

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

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

Основная литература:

1. Шустер Гейнц Георг. Детерминированный хаос : Введение / пер. с англ. Ф. М. Израйлева [и др.] ; под ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича. - М. : Мир, 1988. - 240 с. : ил. - 2.60., 3 экз.

#### Дополнительная литература:

1. 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):

1. Матросов В.В. Моделирование систем: анализ динамики и расчет динамических характеристик системы ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром// Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: ННГУ, 2012. – 26с.

[http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual\\_matrosov\\_modelling\\_fap.pdf](http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_matrosov_modelling_fap.pdf)

2. Матросов В.В. Моделирование нейроподобных элементов и сетей на базе фазоуправляемых генераторов. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2011.

<http://www.unn.ru/e-library/methodmaterial.html?pscience=7>

3. Матросов В.В. Динамика нелинейных систем. // Программный комплекс для исследования нелинейных динамических систем с непрерывным временем: учебно-методическая разработка Нижегородский Государственный Университет им. Н.И. Лобачевского, 2002.

[http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual\\_matrosov\\_dns.PDF](http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_matrosov_dns.PDF)

#### **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.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

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

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