

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

Теория колебаний

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная радиофизика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.24 Теория колебаний 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
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1: Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики ОПК-1.2: Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач ОПК-1.3: Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1: Знать основные составляющие аппарата теории колебаний (определения, математические методы, теоремы). Уметь применять формульный аппарат теории колебаний для решения физических задач. Владеть аппаратом теории колебаний. ОПК-1.2: Знать основные составляющие аппарата теории колебаний (определения, математические методы, теоремы). Уметь применять формульный аппарат теории колебаний для решения физических задач. Владеть аппаратом теории колебаний. ОПК-1.3: Знать основные составляющие аппарата теории колебаний (определения, математические методы,	Задачи Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

		<p>теоремы).</p> <p>Уметь применять формульный аппарат теории колебаний для решения физических задач.</p> <p>Владеть аппаратом теории колебаний.</p>		
<p>ОПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;</p>	<p>ОПК-2.1: Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов</p> <p>ОПК-2.2: Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы</p> <p>ОПК-2.3: Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов</p>	<p>ОПК-2.1:</p> <p>Знать методы теории колебаний, необходимые для приобретения новых знаний в области теоретической физики, электродинамики, электроники.</p> <p>Уметь применять аппарат теории колебаний, необходимый для изучения теоретической физики, электродинамики, электроники.</p> <p>Владеть навыками использования математического аппарата теории колебаний, применяемого в теоретической физике, электродинамике, электронике.</p> <p>ОПК-2.2:</p> <p>Знать методы теории колебаний, необходимые для приобретения новых знаний в области теоретической физики, электродинамики, электроники.</p> <p>Уметь применять аппарат теории колебаний, необходимый для изучения теоретической физики, электродинамики, электроники.</p> <p>Владеть навыками использования математического аппарата теории колебаний, применяемого в</p>	<p>Задачи</p> <p>Собеседование</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p>

		<p>теоретической физике, электродинамике, электронике.</p> <p>ОПК-2.3: Знать методы теории колебаний, необходимые для приобретения новых знаний в области теоретической физики, электродинамики, электроники.</p> <p>Уметь применять аппарат теории колебаний, необходимый для изучения теоретической физики, электродинамики, электроники.</p> <p>Владеть навыками использования математического аппарата теории колебаний, применяемого в теоретической физике, электродинамике, электронике.</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	8
Часов по учебному плану	288
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	48
- КСР	4
самостоятельная работа	91
Промежуточная аттестация	81
	Экзамен

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. Базовые идеи и подходы теории колебаний	30	6	6	12	18
Тема 2. Основные методы теории колебаний	42	15	7	22	20
Тема 3. Исследование базовых моделей теории колебаний	38	11	7	18	20
Тема 4. Параметрические системы	13	6		6	7
Тема 5. Резонансное взаимодействие осцилляторов	13	6		6	7
Тема 6. Простые волны и образование разрывов	23	6	10	16	7
Тема 7. Стационарные волны в консервативных и автоколебательных системах	23	7	10	17	6
Тема 8. Автоколебания в многомерных динамических системах	21	7	8	15	6
Аттестация	81				
КСР	4				4
Итого	288	64	48	116	91

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Базовые идеи и подходы теории колебаний

Историческое введение, формулировка предмета и содержания теории колебаний. Понятие динамической системы и фазового пространства, системы с непрерывным и дискретным временем, грубой динамической системы. Динамические системы на прямой. Грубые состояния равновесия. Основные бифуркации.

Раздел 2. Основные методы теории колебаний

Устойчивость линеаризованных сосредоточенных систем с непрерывным и дискретным временем. Сведение задачи к оценке расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости. Классификация типов состояний равновесия (особых точек) в системах второго и третьего порядка; исследование их устойчивости. Простейшие динамические системы с дискретным временем. Отображение Пуанкаре. Классификация неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений.

Колебания в нелинейных системах с одной степенью свободы. Линейный и нелинейный осцилляторы. Фазовый портрет. Резонанс в нелинейном осцилляторе. Основы качественной теории и теории бифуркаций динамических систем на

плоскости. Грубые предельные циклы, основные характеристики. Основные (коразмерности 1) бифуркации динамических систем на плоскости: двукратное равновесие, нейтральное равновесие (бифуркация Андронова-Хопфа), двукратный предельный цикл, петля сепаратрисы седла и седло-узла, сепаратрисная связка.

Автоколебательные системы Система с одной степенью свободы. Физические примеры. Метод разрывных колебаний.

Метод Ван-дер-Поля (автономный и неавтономный случаи). Связанные автогенераторы. Явление захватывания, определение полосы синхронизации. Конкуренция колебаний в многомодовых

автогенераторах.

Колебания и волны в упорядоченных структурах

Приводятся дисперсионные уравнения для цепочек связанных осцилляторов. Вводится физический смысл понятия "дисперсия". Переход от дискретных структур к распределенным. Фазовая и групповая скорости, распространение волнового пакета. Характеристические уравнения ограниченных распределенных систем.

Раздел 3. Исследование базовых моделей теории колебаний

Динамика сверхпроводящего Джозефсоновского контакта и маятника в вязкой среде. Исследование уравнений Ван-дер-Поля и Рэля. Конкуренция колебаний в многомодовых автогенераторах.

Содержание разделов дисциплины (6 семестр)

Раздел 1. Параметрические системы

Рассматривается параметрический резонанс в системах с одной степенью свободы. Теория Флоке. Уравнение Матье. Асимптотический метод. Определение зон параметрической неустойчивости. Системы с медленно меняющимися параметрами. Адиабатические инварианты. Распространение гармонической волны в средах с плавной неоднородностью.

Раздел 2. Резонансное взаимодействие осцилляторов

Взаимодействие трех связанных осцилляторов в системе с квадратичной нелинейностью. Соотношение Мэнли-Роу. Резонансное взаимодействие волн в слабонелинейных средах с дисперсией.

Раздел 3. Простые волны и образование разрывов

Гравитационные волны на мелкой воде. Теория характеристик. Формирование разрывов. Определение координат разрыва.

Раздел 4. Стационарные волны в консервативных и автоколебательных распределенных системах

Стационарные ударные волны. Уединенные волны - солитоны. Солитоны в уравнении Кортевега де Вриза. Эволюция нестационарного возмущения.

Раздел 5. Автоколебания в многомерных динамических системах

Основные (кратности 1) бифуркации многомерных динамических систем: Бифуркации состояний равновесия: двукратное равновесие, бифуркация Андронова-Хопфа. Бифуркации периодических движений: двукратный предельный цикл, удвоение периода, рождение инвариантного тора.

Нелокальные бифуркации в окрестности гомоклинической траектории.

Динамический хаос. Странный аттрактор. Характеристические показатели Ляпунова. Фрактальные структуры и размерность странных аттракторов. Ляпуновская размерность. Переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода. Универсальность Фейгенбаума. Сценарии перехода к хаосу через бифуркации квазипериодических движений.

Модели Ландау-Хопфа Рюэля-Тakensa. Хаос в системах с гомоклинической кривой. Отображение подкова Смейла.

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.

Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме практических занятий.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного типа:

- лекции с проблемным изложением учебного материала. используемые на занятиях практического типа;
- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

Темы практических занятий, по которым дается домашнее задание

5 семестр

Знакомство с аппаратом фазового пространства. Понятие о грубых и негрубых динамических системах (на примере систем на прямой). Исследование систем на прямой. Исследование грубых состояний равновесия на фазовой плоскости и в трехмерном пространстве. Линеаризация и составление характеристических уравнений. Методы определения устойчивости состояний равновесия линеаризованных систем. Метод Гурвица. Знакомство с методом точечных преобразований. Исследование грубых неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений. Нелинейный осциллятор. Построение фазового портрета.

6 семестр

Исследование автоколебательных систем на плоскости методом разрывных колебаний. Метод Ван-дер-Поля для автономных систем. Нахождение частоты и амплитуды автоколебаний. Метод Ван-дер-Поля для неавтономных систем. Изучение динамических систем с дискретным временем. Исследование неподвижных точек одномерных точечных отображений. Отображение Пуанкаре. Исследование автоколебательных систем на плоскости методом точечных отображений. Цепочечные структуры. Вывод уравнений и составление дисперсионных характеристик, определение собственных частот. Переход от цепочечных структур к сплошной среде. Составление дисперсионных уравнений непрерывных распределенных систем. Критерий Стэррока. Стационарные волны в консервативных средах. Простые волны. Эволюция простых волн, определение координат разрывов. Стационарные волны в неконсервативных средах. Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

Темы лабораторных занятий Не предусмотрены

Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

5 семестр

Определение грубой (структурно-устойчивой) системы на фазовой плоскости. Определение состояния равновесия и предельного цикла на фазовой плоскости. Отображение Пуанкаре. Двукратное и нейтральное равновесия на фазовой плоскости. Двукратный предельный цикл. Определение и основные свойства. Петля сепаратрисы седла и седло-узла. Определение и основные свойства. Автоколебания. Определение и основные свойства. Построение фазового портрета двумерных систем методом Ван-дер-Поля и разрывных колебаний. Дисперсия волн и диспергирующая среда. Построение вольтамперной характеристики Джозефсоновского контакта.

6 семестр

Условия существования параметрического резонанса. Определение распадной неустойчивости.

Основные свойства солитонов.

Основные сценарии потери устойчивости периодических движений трехмерных систем.

Динамический хаос. Примеры систем, генерирующих фрактальные структуры. Ляпуновская размерность. В чем состоит универсальность Фейгенбаума. Как описывается поведение траекторий в окрестности гомоклинической орбиты, образованной сепаратрисой седло-фокуса.

Основные сценарии перехода к хаосу.

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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + a \\ \dot{x}_2 = x_1 + bx_2 \end{cases}$$

в которой a и b удовлетворяют условиям: $a > 0, b \in \mathbb{R}$. Постройте фазовые портреты системы для различных значений параметра b . Найдите уравнения особых траекторий системы (ведущего и не ведущего направлений узла, сепаратрис седла).

2. Для уравнения:

$$\dot{x} = x - \frac{ax}{x+1},$$

определенного, при $x > -1$, где a – положительный параметр, постройте бифуркационную диаграмму и установите тип, происходящей бифуркации.

3. Постройте фазовый портрет системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -x_1 \sqrt{1-a^2} - (b - \sqrt{1-a^2})x_2 \end{cases}$$

где параметры a и b удовлетворяют условиям: $b > 0, 0 \leq a < 1$. Установите разбиение области $\{b > 0, 0 \leq a < 1\}$ на подобласти соответствующие различным типам состояний равновесия.

4. Исследуйте нелокальную динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x} = ay - bf(x) \\ \dot{y} = -y + f(x) \end{cases},$$

где параметры a и b положительные параметры, а функция $f(x)$ удовлетворяет условиям: $f(x) > 0$, если $x \neq 0$ и $f(0) = 0, f'(0) > 0$. Указание: используйте второй метод Ляпунова.

5. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = 1 + \rho^3 \\ \dot{\rho} = \mu\rho + \rho^3 + \rho^5 \end{cases},$$

заданной в полярных координатах.

6. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -x + \mu[y^2 + \alpha(1-x^2)]y \end{cases},$$

где параметр $0 < \mu \ll 1$, а параметр $\alpha \in \mathbb{R}$. Постройте бифуркационную диаграмму и фазовые портреты системы.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

1. Рассмотреть квадратичные отображения:

$$\bar{x} = x^2 + \mu,$$

где μ - параметр.

а) Найти и классифицировать неподвижные точки, как функции параметра μ .

б) Найти значения параметра μ , при которых происходят бифуркации неподвижных точек, и провести классификацию этих бифуркаций.

в) Для каких значений μ существуют устойчивые периодические траектории периода 2.

2. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{x} + x(x^2 - 1) = 0.$$

3. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{\varphi} - (2 + \cos \varphi) \sin \varphi = 0.$$

4. Изучить явление резонанса в нелинейном осцилляторе:

$$\ddot{x} + x = \mu [x^3 + 2E \cos \omega t]$$

где $0 < \mu \ll 1$, $\omega = 1 + \mu \xi$, ξ – параметр, характеризующий расстройку между собственной частотой осциллятора и частотой внешнего воздействия.

5. Найти зависимость амплитуды колебаний от параметра α . Определить, какие ветви бифуркационной кривой соответствуют устойчивым автоколебаниям системы:

$$\ddot{x} + x = \mu [\dot{x}^2 + \alpha(1 - x^2)] \dot{x}, \quad 0 < \mu \ll 1$$

13. Какие типы стационарных волн возможны в среде, состояние которой описывается уравнением:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \sin u - \gamma, \quad \text{где } \gamma \geq 0.$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Вопросы для собеседования для текущего контроля совпадают с контрольными вопросами для промежуточной аттестации

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Вопросы для собеседования для текущего контроля совпадают с контрольными вопросами для промежуточной аттестации

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне

Оценка	Критерии оценивания
	не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые	Имеется минимальный набор навыков для	Продemonстрированы базовые навыки при решении	Продemonстрированы базовые навыки при решении	Продemonстрированы навыки при решении	Продemonстрирован творческий подход к решению

	навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	навыки. Имели место грубые ошибки	решения стандартных задач с некоторым и недочетами	стандартных задач с некоторым и недочетами	стандартных задач без ошибок и недочетов	нестандартных задач без ошибок и недочетов	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 ОПК-1

5 семестр

1. Динамические системы с дискретным и непрерывным временем. Фазовое пространство. Типы траекторий. Динамические системы с диссипацией.
2. Бифуркации состояний равновесия динамических систем на прямой: двукратное равновесие, транскритическая.
3. Транскритическая бифуркация состояний равновесия на прямой.
4. Бифуркация состояний равновесия динамических систем на прямой: трехкратное равновесие.
5. Устойчивость по Ляпунову состояний равновесия.

6. Метод линеаризации определения устойчивости состояний равновесия.
7. Классификация состояний равновесия динамических систем на плоскости (случай действительных корней).
8. Классификация состояний равновесия трехмерных систем (случай действительных корней).
9. Критерий Рауса-Гурвица.
10. Основные свойства точечных отображений. Отображение Пуанкаре.
12. Классификация неподвижных точек двумерных точечных отображений (действительные мультипликаторы).
13. Классификация неподвижных точек двумерных точечных отображений (комплексные мультипликаторы).
14. Грубые предельные циклы в пространстве (действительные мультипликаторы).

6 семестр

1. Вынужденные колебания линейного осциллятора (консервативный случай).
2. Вынужденные колебания линейного осциллятора (диссипативный случай).
3. Резонанс в нелинейном осцилляторе (консервативный случай).
4. Резонанс в нелинейном осцилляторе (диссипативный случай).
5. Вынужденная синхронизация (исследование укороченной системы).
6. Вынужденная синхронизация. Отображение Пуанкаре. Полоса синхронизации.
7. Автоколебания и автоколебательные системы. Основные свойства.
8. Автоколебания в системе с активным элементом (мягкий режим возбуждения).
9. Автоколебания в системе с активным элементом (жесткий режим возбуждения).
10. Бифуркация Андронова-Хопфа в пространстве (случай отрицательной ляпуновской величины).
11. Бифуркация Андронова-Хопфа в пространстве (случай положительной ляпуновской величины).
12. Метод Ван-дер-Поля для слабонелинейных систем с одной степенью свободы.
13. Метод Ван-дер-Поля для автономных систем.
14. Колебания и волны в цепочке взаимосвязанных линейных осцилляторов. Дисперсия.

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

5 семестр

1. Линейный осциллятор. Основные свойства.
2. Нелинейный осциллятор. Основные свойства.
3. Предельные циклы динамических систем на плоскости. Основные характеристики.
4. Орбитальная устойчивость.
5. Седло-узловая бифуркация состояний равновесия на плоскости.
6. Суперкритическая бифуркация Андронова-Хопфа.
7. Субкритическая бифуркация Андронова-Хопфа.
8. Бифуркация петли сепаратрис седло-узла.
9. Бифуркация двукратного предельного цикла.
10. Бифуркация петли сепаратрисы седла (случай отрицательной седловой величины).
11. Бифуркация петли сепаратрис седла (случай положительной седловой величины).
12. Определение грубости (структурной устойчивости) динамических систем на плоскости.
13. Условия грубости динамических систем на плоскости.
14. Релаксационные периодические колебания.
15. Динамика быстро-медленных систем с однократной релаксацией.
16. Функция Ляпунова. Второй метод Ляпунова.
17. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Эквивалентная схема контакта Динамика Джозефсоновского контакта в случае $0 < \gamma < 1$.
17. ВАХ Джозефсоновского контакта.
18. Динамика Джозефсоновского контакта в случае $\gamma = 0$.
19. Динамика Джозефсоновского контакта в случае $\gamma > 1$.

6 семестр

1. Дисперсия. Построение дисперсионного уравнения для одномерной среды. Влияние граничных условий.
2. Длинноволновый переход от упорядоченной структуры к среде.
3. Структуры Тьюринга.

4. ВАХ Джозефсоновского контакта.
5. Теория Флоке.
6. Параметрические колебания маятника.
7. Устойчивость и неустойчивость нулевого решения линейных параметрических систем. Параметрический резонанс.
8. Колебания маятника с вибрирующей точкой подвеса.
9. Приближение ВКБ. Адиабатический инвариант.
10. Волны на мелкой воде.
11. Простые волны. Образование разрыва
12. Солитоны в уравнении КдВ (существование).
13. Солитоны в уравнении КдВ (устойчивость).
14. Устойчивость солитонов в уравнении Кортевега-де-Вриза.
15. Двукратный предельный цикл в пространстве.
16. Бифуркация удвоения периода периодического движения.
17. Бифуркация рождения инвариантного тора.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
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 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
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»

Оценка	Критерии оценивания
	Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %

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

1. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = y, \\ \dot{y} = \gamma - \sin \varphi - \lambda y - a(\cos \varphi)y, \end{cases}$$

где, $\gamma > 0$, $\lambda > 0$, $a > 0$.

2. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = \gamma^2 - x^2 + \frac{2y}{1+y^2}, \end{cases}$$

где параметр $\gamma > 0$.

3. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = x - y - x^3, \\ \dot{y} = x - y + z, \\ \dot{z} = -z + \alpha^3, \end{cases}$$

где $\alpha \neq 0$.

4. Исследовать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = z + y, \\ \dot{y} = -y, \\ \dot{z} = \gamma - \sin x + 4z, \end{cases}$$

где параметр $\gamma \geq 0$.

5. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = x - y - e^x, \\ \dot{y} = x - y + z, \\ \dot{z} = z + \gamma, \end{cases}$$

где γ – параметр.

6. Исследовать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = y, \\ \dot{y} = \gamma - \sin \varphi + \delta y + z, \\ \dot{z} = -3z, \end{cases}$$

где параметр $0 \leq \gamma < 1, \delta > 0$.

7. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -\lambda y - \delta x + x^2, \end{cases}$$

где параметры $\lambda, \delta > 0$.

8. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = \lambda y - \delta x + x^2 + \alpha xy, \end{cases}$$

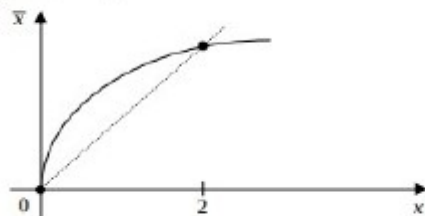
где параметр $\lambda, \delta, \alpha > 0$.

9. Построить фазовый портрет и описать возможные колебательные процессы в системе, заданной в полярных координатах:

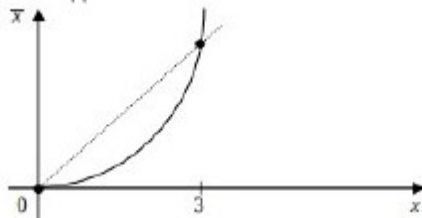
$$\begin{aligned}\dot{\varphi} &= \omega, \\ \dot{\rho} &= \rho(\rho-1),\end{aligned}$$

где $x = \rho \cos \varphi, y = \rho \sin \varphi$.

10. Построить качественное разбиение фазовой плоскости (x, y) на траектории, если отображение Пуанкаре имеет вид:



11. Построить качественное разбиение фазовой плоскости на траектории, если отображение Пуанкаре имеет вид:



12. Рассмотреть следующее двумерное отображение, зависящее от двух параметров:

$$\begin{cases} \bar{x} = y \\ \bar{y} = -\zeta x + \mu - y^2 \end{cases}$$

Найти кривую на плоскости (ζ, μ) , соответствующую потере устойчивости неподвижной точки.

13. Проведите нелокальный анализ системы:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_1 + x_2 \\ \dot{x}_2 = x_2 - b \end{cases}$$

в которой a и b удовлетворяют условиям: $b > 0$, $a \in \mathbb{R}$. Постройте фазовые портреты системы для различных значений параметров a и b . В случае, когда состояние равновесия узел найдите ведущее и не ведущее направления, а в случае седла уравнения сепаратрис.

14. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + a \\ \dot{x}_2 = x_1 + bx_2 \end{cases},$$

где параметр $a \in \mathbb{R}$. Постройте фазовые портреты системы для различных значений параметра a . Найдите ведущее и не ведущее направления узла, сепаратрисы седла.

15. Для нулевого состояния равновесия уравнения:

$$\dot{x} = -ax + sh(bx),$$

где a и b – положительные параметры, исследуйте бифуркационные значения параметров и установите тип этой бифуркации.

16. Для тривиального состояния равновесия системы:

$$\dot{x} = x(1 - x^2) - a(1 - e^{-bx}),$$

где a, b – параметры, найти бифуркационные значения параметров и установить их тип.

17. Провести исследование динамики и описать возможные режимы следующей системы:

$$\dot{x} = -\mu x + x^3 - x^5,$$

где μ – положительный параметр.

18. Провести исследование динамики и описать возможные режимы следующей системы:

$$\dot{\varphi} = \mu \sin \varphi - \sin 2\varphi,$$

где μ – положительный параметр.

19. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x} = ax - by - x(x^2 + y^2)^2 \\ \dot{y} = bx + ay - y(x^2 + y^2)^2 \end{cases},$$

где параметры $a \in \mathbb{R}$, $b > 0$. Постройте бифуркационную диаграмму и фазовые портреты системы.

20. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1(1 - x_1 - ax_2) \\ \dot{x}_2 = x_2(b - x_2 - cx_1) \end{cases},$$

где переменные x_1 и x_2 удовлетворяют условиям $0 \leq x_1 \leq 1$, $0 \leq x_2 \leq 1$, а a , b , c положительные параметры, удовлетворяющие условиям: $a < 1$, $b < 1$, $c < 1$. Найдите поглощающую область системы. Для фиксированного значения параметра c установите разбиение плоскости параметров (a, b) на области, соответствующие структурно устойчивым фазовым портретам системы.

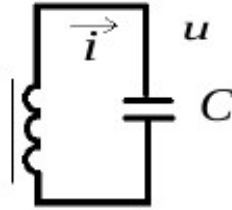
21. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x} = -ax - y + x(x^2 + y^2)^2 \\ \dot{y} = x - ay - y(x^2 + y^2)^2 \end{cases},$$

где параметр $a \in \mathbb{R}$. Постройте фазовые портреты системы для различных значений параметра a .

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

1. Исследуйте динамику электрического контура, эквивалентная схема которого представлена на рисунке



где $Li = \Phi + \alpha \Phi^3, u = \frac{d}{dt} \Phi, \alpha > 0$.

2. Построить фазовый портрет и описать возможные колебательные процессы в системе:

$$\ddot{\varphi} - (2 + \sin \varphi) \cos \varphi = 0.$$

3. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{\varphi} + (2 - \cos \varphi) \sin \varphi = 0.$$

4. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{\varphi} - \left(\frac{1}{2} - \cos \varphi\right) \sin \varphi = 0.$$

5. Построить фазовый портрет системы:

$$\ddot{x} = a - e^x,$$

где a – произвольный параметр.

6. Построить фазовый портрет системы:

$$\ddot{x} = (x - a)(x^2 - a),$$

где a – произвольный параметр.

7. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{x} - x(x^2 - 1) = 0.$$

8. Построить фазовый портрет и описать возможные колебательные режимы системы:

$$\ddot{x} + x(4x^2 - a^2) = 0,$$

где параметр $a > 0$.

9. Построить фазовый портрет и описать возможные колебательные процессы в системе:

$$\ddot{x} - x(x - \frac{1}{3})(1 - x) = 0.$$

10. Построить фазовый портрет и описать возможные колебательные процессы в системе:

$$\ddot{x} = (x - 1)(x^2 - 4).$$

11. Построить фазовый портрет и описать возможные колебательные процессы в системе:

$$\ddot{x} = -(x - 1)(x^2 - 4).$$

12. Построить фазовый портрет и описать качественно возможные колебательные режимы системы:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = y, \\ \dot{y} = (\sin \varphi - 2) \cos \varphi. \end{cases}$$

13. Построить фазовый портрет системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -y \sin^3 x - \alpha(e^x - 1) \end{cases},$$

где α – положительный параметр.

14. Построить в области $x+1>0$ фазовый портрет системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ a \dot{y} = \frac{b-x}{x+1} \end{cases}$$

где $a>0, b>0$.

15. Построить фазовый портрет системы:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = y \\ \mu \dot{y} = -y + \sin \varphi \end{cases},$$

где $0<\mu<<1$.

16. Провести разбиение фазовой плоскости на фазовые траектории для системы:

$$\begin{cases} \mu \frac{dx}{dt} = x(1-x^2) - y \\ \frac{dy}{dt} = x \end{cases}.$$

где $0<\mu<<1$.

17. Провести разбиение фазовой плоскости на фазовые траектории для системы:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = xy - 1 \\ \mu \frac{dy}{dt} = x - y^3 \end{cases},$$

где $0<\mu<<1$.

18. Построить разбиение фазовой плоскости на фазовые траектории для системы, описываемой уравнениями:

$$\begin{cases} \mu \dot{x} = -y - x(x^2 - 5) \\ \dot{y} = x \end{cases},$$

где $0 < \mu < 1$.

19. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -x - \mu[1 - \alpha(1 - y^2)]y \end{cases},$$

где параметр $0 < \mu < 1$, а параметр $\alpha \in \mathbb{R}$. Постройте бифуркационную диаграмму и фазовые портреты системы.

20. Исследуйте динамику системы

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -x - \mu[y - \alpha(y - 3x^2y)] \end{cases},$$

где параметр $0 < \mu < 1$, а параметр $\alpha \in \mathbb{R}$. Постройте бифуркационную диаграмму и фазовые портреты системы.

21. Найти зависимость амплитуды колебаний от параметра α . Определить, какие ветви бифуркационной диаграммы соответствуют устойчивым автоколебаниям системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -x - \mu[1 - \alpha(1 - y^2)]y \end{cases},$$

где $0 < \mu < 1$.

22. Найти зависимость амплитуды колебаний от параметра α . Определить, какие ветви бифуркационной кривой соответствуют устойчивым автоколебаниям системы:

$$\ddot{x} + x = -\mu \frac{d}{dt}[x - \alpha(x - x^3)],$$

где $0 < \mu < 1$.

23. Построить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) при $\omega_0 = 1 + \mu\xi$ и провести ее разбиение на ветви, соответствующие различным типам п.д.

$$\ddot{x} + x = \mu x^3 + 2\mu E \cos \omega_0 t,$$

где $0 < \mu \ll 1$.

24. Найти и установить тип состояния равновесия уравнения:

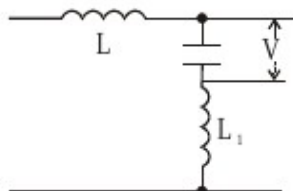
$$\ddot{x} + x \sin^2 x + \alpha(e^x - 1) = 0,$$

где $\alpha \neq 0$. Существует ли на фазовой плоскости замкнутые траектории?

25. Какие типы стационарных волн возможны в среде, состояние которой описывается уравнением:

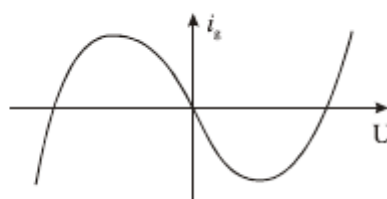
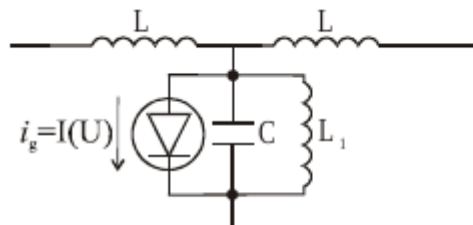
$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + u(1-u)$$

26. Выяснить, какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:

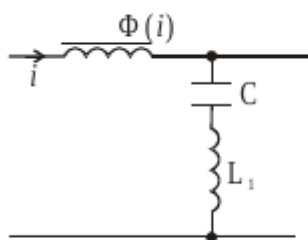


$$V(q) = \frac{1}{C_0} q(1 + \alpha q)$$

27. Выяснить, какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:

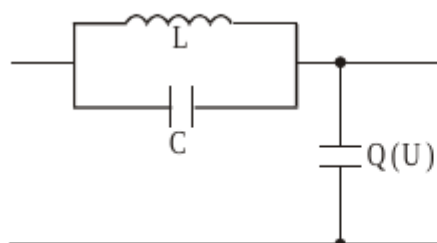


28. Какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:



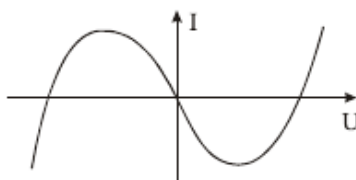
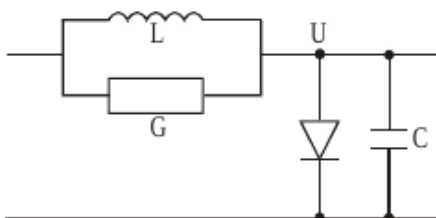
$$\Phi(i) = Li(1 - \alpha i)$$

29. Выяснить, какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:



$$Q(U) = C_0 U(1 - \alpha U^2)$$

30. Выяснить возможность существования автоколебаний в виде периодических стационарных волн в системе, эквивалентная схема которой имеет вид:



Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
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 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
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» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %

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

Основная литература:

1. Некоркин Владимир Исаакович. Лекции по основам теории колебаний : учеб. пособие для студентов ННГУ, специализирующихся в области радиофизики, приклад. математики и мат. моделирования / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 311 с. - ISBN 978-5-91326-230-1 : 162.13., 148 экз.
2. Андронов А. А. Теория колебаний / перераб. и доп. Н. А. Железцова. - М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. - 915 с. - 70.00., 58 экз.

Дополнительная литература:

1. Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний / Алдошин Г. Т. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - Рекомендовано НМС по теоретической механике в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов физико-технических высших учебных заведений. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-1460-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799845&idb=0>.
2. Алдошин Геннадий Тихонович. Теория линейных и нелинейных колебаний : учеб. пособие для студентов и аспирантов физ.-техн. вузов. - Изд. 2-е, стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. - 320 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1460-4 : 401.00., 1 экз.

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

Исследование динамики систем с разрывными колебаниями: Составитель Мотова М.И. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2010 <http://old.rf.unn.ru/rus/ktk/content/%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC-%D1%81-%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8B%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%BC%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%D0%BC%D0%B8>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Некоркин Владимир Исаакович, доктор физико-математических наук, профессор.

Рецензент(ы): Канаков Олег Игоревич, доктор физико-математических наук.

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

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