

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Теория колебаний

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Информационные процессы и киберфизические системы

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Мамин Г.В. (Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), George.Mamin@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;
ПК-4	способностью использовать базовые знания в области математики для решения радиофизических задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

Основные термины, теоремы и определения теории колебаний, используемых в радиофизике и электронике  
 методы анализа линейных систем с одной степенью свободы  
 метод фазовой плоскости  
 второй метод Ляпунова исследования устойчивости состояния равновесия нелинейных систем  
 методы анализа нелинейных и параметрических систем

Должен уметь:

дать грамотное определение и толкование основных терминов, теорем и определений теории колебаний, используемых в радиофизике и электронике  
 уметь применять метод фазовой плоскости  
 использовать методы анализа нелинейных и параметрических систем  
 решать задачи на составление колебательных уравнений и построение фазовых портретов систем с одной степенью свободы

Должен владеть:

Аппаратом теории колебаний и применять его для решения практических задач

Должен демонстрировать способность и готовность:

Применять аппарат теории колебаний при решении фундаментальных и практических задач в области радиофизики.

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.О.26 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.03.03 "Радиофизика (Информационные процессы и киберфизические системы)" и относится к обязательной части ОПОП ВО.

Осваивается на 3 курсе в 5 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 46 часа(ов), в том числе лекции - 32 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 26 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 5 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение в теорию колебаний. Классификация колебаний. Колебания в экологической системе.	5	2	0	0	0	0	0	1
2.	Тема 2. Пакеты программ для решения научных задач в физике. Установка пакета Python с модулями NumPy, SciPy, Matplotlib. Идеология вычислений в научных программных пакетах. Номиналы радиодеталей. Формат файлов ASCII. Вывод графиков. Модификация параметров графиков для подготовки презентаций, отчетов бакалаврских работ.	5	0	0	2	2	0	0	4
3.	Тема 3. Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости. Фазовый портрет линейной консервативной системы. Отображение Пуанкаре. Использование сечения Пуанкаре при приеме зашумленных сигналов. Особые точки двумерных точечных отображений.	5	2	0	2	2	0	0	2
4.	Тема 4. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы. Фазовый портрет линейной неконсервативной системы. Движение в системе с отталкивающей силой. Диаграмма особых точек. Грубые и негрубые динамические системы. Бифуркации.	5	2	0	0	0	0	0	
5.	Тема 5. Свободные колебания в нелинейных системах. Построение ФП методом Льеяра. Метод Рунге-Кутты решения дифференциальных уравнений Метод Рунге-Кутты 4 порядка для решение дифференциальных уравнений. Получение системы дифференциальных уравнений для радиофизических колебательных систем. Поиск устойчивого решения дифференциальных уравнений. Переходные процессы в колебательном контуре. Колебания в длинных линиях на низких частотах, согласование.	5	2	0	2	2	0	0	2

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
6.	Тема 6. Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы. Резонанс в линейном осцилляторе при силовом возбуждении. Амплитудно и фазо-частотные характеристики основных колебательных систем и их практическое использование. Расчет колебательного контура для конструкторских задач и построение его АЧХ и ФЧХ.	5	2	0	1	1	0	0	2
7.	Тема 7. Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы без диссипации энергии (задача Дуффинга). Резонанс в нелинейном осцилляторе при силовом возбуждении. Феррорезонанс. Расчет АЧХ колебательного контура на примере импульсного резонансного блока питания радиоэлектронной аппаратуры.	5	2	0	2	2	0	0	2
8.	Тема 8. Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Примеры генераторов. Уравнения Ван-дер-Поля и Релея. Фазовый портрет. Частота генерируемых колебаний. Мягкое и жесткое самовозбуждение. Интерполяция данных сплайнами. Численное интегрирование и дифференцирование. Построение фазового портрета автоколебательных систем. Изучение явления синхронизации и затягивания.	5	2	0	2	2	0	0	2
9.	Тема 9. Автоколебательные системы с одной степенью свободы в неавтономном режиме. Синхронизация захватыванием и гашением собственных колебаний. Полоса синхронизации. Автоколебательные системы с запаздывающей связью. Основы теории управления. Использования теории решения дифференциальных уравнений в системах реального времени. Автоколебательная система с запаздыванием отклика.	5	2	0	3	3	0	0	2
10.	Тема 10. Метод медленно меняющихся амплитуд. Координаты Ван-дер-Поля. Метод медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Решение уравнения Ван дер Поля.	5	2	0	0	0	0	0	2
11.	Тема 11. Релаксационные генераторы. Предельный переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.	5	2	0	0	0	0	0	2

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
12.	Тема 12. Устойчивость линейных и нелинейных колебательных систем. Параметрический резонанс. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Параметрический усилитель.	5	2	0	0	0	0	0	2
13.	Тема 13. Системы с двумя степенями свободы. Двухконтурная автоколебательная система. Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы.	5	2	0	0	0	0	0	1
14.	Тема 14. Колебания в однородных цепочках. Вынужденные колебания в однородных цепочках.	5	2	0	0	0	0	0	
15.	Тема 15. Параметрические системы с n-степенями свободы. Двухконтурный параметрический усилитель и преобразователь частоты.	5	2	0	0	0	0	0	
16.	Тема 16. Колебания в распределенных системах. Автоколебания в распределенных системах. Хаотические колебательные системы. "Эффект бабочки". Странный аттрактор. Фракталы.	5	2	0	0	0	0	0	2
17.	Тема 17. Подведение итогов. Зачет.	5	2	0	0	0	0	0	
	Итого		32	0	14	14	0	0	26

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Введение в теорию колебаний. Классификация колебаний. Колебания в экологической системе.

Даются основные определения в теории колебаний. Приводятся примеры колебательных систем. Приводятся примеры применения методов теории колебаний в профессии ?радиофизик?. Дается классификация колебательных систем по типу повторения движения, по количеству степеней свободы, по потерям в системе, по типу внешнего воздействия, по типу уравнений. Приводится пример колебательной системы на примере экологической системы.

Самостоятельная работа студентов состоит анализе окружающего мира и поиске и классификации какой либо колебательной системы.

##### Тема 2. Пакеты программ для решения научных задач в физике. Установка пакета Python с модулями NumPy, SciPy, Matplotlib. Идеология вычислений в научных программных пакетах. Номиналы радиодеталей. Формат файлов ASCII. Вывод графиков. Модификация параметров графиков для подготовки презентаций, отчетов бакалаврских работ.

Рассматриваются возможности языка Python и дополнительных модулей для решения задач физики и радиофизии. Рассматриваются способы установки модулей NumPy, SciPy, Matplotlib. Дается идеология написания скриптов в физических пакетах. Рассматриваются способы представления графических данных и необходимые элементы скрипта для модификации графика в соответствии с ГОСТ для ВКР. На примере вычисления параметров колебательного контура, дается представление о инженерных приложениях такого рода расчетов. Контроль выполнения приведен в ФОС 4.1.1.

Самостоятельная работа заключается в установке пакетов ПО Python NumPy, SciPy, Matplotlib на компьютер.

##### Тема 3. Собственные колебания в линейной консервативной системе с одной степенью свободы. Метод фазовой плоскости. Фазовый портрет линейной консервативной системы. Отображение Пуанкаре. Использование сечения Пуанкаре при приеме зашумленных сигналов. Особые точки двумерных точечных отображений.

Рассматриваются линейные консервативные систем с одной степенью свободы на примере математического маятника и колебательного контура. Дается определение фазовой плоскости, изображающей точки, фазовой траектории, фазового портрета. Выводятся уравнение описывающие фазовую траекторию линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Строится фазовый портрет линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Вводится определение собственного времени. Дается определение особой точки типа фокус. Дается определения отображения (сечения) Пуанкаре. Приводится пример использования сечения Пуанкаре для фильтрации зашумленных сигналов.

Самостоятельная работа заключается в изучение в специальной программе фазовых портретов линейной консервативной системы с одной степенью свободы и их изменения от начальных параметров.

**Тема 4. Собственные колебания в линейной неконсервативной системе с одной степенью свободы. Фазовый портрет линейной неконсервативной системы. Движение в системе с отталкивающей силой. Диаграмма особых точек. Грубые и негрубые динамические системы. Бифуркации.**

Рассматриваются линейные неконсервативные систем с одной степенью свободы на примере колебательного контура. Дается определение слабого затухания. Находится решение системы дифференциальных уравнений описывающих линейную неконсервативную систему с одной степенью свободы. Дается определение логарифмического декремента затухания. Дается определение добротности. На примере линейной консервативной системы с одной степенью свободы в случае слабого затухания строится фазовый портрет. Дается определение особой точки типа фокус. Дается определение сильного затухания. Приводится решение дифференциального уравнения фазовой траектории. Строится фазовый портрет линейной консервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания для новых координат  $\xi$  и  $\eta$ . Приводится аффинное преобразование координат для построения фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания в координатах  $x$  и  $y$ . Дается определение особой точки типа узел.

Дается определение системы с отталкивающей силой. В качестве примера такой системы рассматривается перевернутый математический маятник. Приводится решение дифференциального уравнения фазовой траектории. Рассчитывается и строится фазовый портрет системы с отталкивающей силой в отсутствие затухания. Выводятся уравнения фазовых траекторий для системы с отталкивающей силой в случае ненулевого затухания.

Строится фазовый портрет системы с отталкивающей силой в координатах  $\xi$  и  $\eta$ . Приводится аффинное преобразование координат для построения фазового портрета системы с отталкивающей силой в координатах  $x$  и  $y$ . Дается определение особой точки типа седло. Строится диаграмма особых точек. На диаграмме обозначаются области соответствующие особым точкам типа центр, устойчивый фокус, неустойчивый фокус, устойчивый узел, неустойчивый узел, седло. Дается определение бифуркации.

**Тема 5. Свободные колебания в нелинейных системах. Построение ФП методом Льенара. Метод Рунге-Кутта решения дифференциальных уравнений Метод Рунге-Кутта 4 порядка для решение дифференциальных уравнений. Получение системы дифференциальных уравнений для радиофизических колебательных систем. Поиск устойчивого решения дифференциальных уравнений. Переходные процессы в колебательном контуре. Колебания в длинных линиях на низких частотах, согласование.**

Рассматриваются свободные колебания в нелинейных системах типа математического маятника и системы с сухим трением. Рассматривается метод Льенара для построения фазовых портретов. Приводится доказательство метода и его связь с методами численного решения дифференциальных уравнений методами Рунге-Кутта

Практические занятия используются для применения полученных знаний для анализа стандартной радиофизической задачи - передачи данных в цифровом виде с малой скоростью по интерфейсам типа RS485 или CAN, Рассматривается способ минимизации переходных процессов и следовательно повышения скорости и помехоустойчивости линии связи. Контроль выполнения приведен в ФОС 4.1.3 и 4.1.4.

Самостоятельная работа заключается в построении фазовой траектории методом Льенара для произвольной функции.

**Тема 6. Вынужденные колебания в линейной системе с одной степенью свободы. Резонанс в линейном осцилляторе при силовом возбуждении. Амплитудно и фазо-частотные характеристики основных колебательных систем и их практическое использование. Расчет колебательного контура для конструкторских задач и построение его АЧХ и ФЧХ.**

На примере колебательного контура с генератором рассматриваются системы с вынужденными колебаниями. Рассматриваются типы колебаний в консервативных системах. Находится зависимости от частоты вынуждающих колебаний амплитуды и фазы вынужденных колебаний в консервативной системе. Дается определение резонанса. Выводится зависимость амплитуды и фазы собственных колебаний в случае действия вынуждающей силы. Строится временная зависимость амплитуды колебаний в контуре. Выводится уравнение биений. Делается предельный переход к нулевой расстройке частоты. Выводится уравнение амплитуды колебаний при резонансе. Рассматриваются типы колебаний в неконсервативных системах. Делается вывод о возможности пренебрежения собственными колебаниями. С помощью метода комплексных амплитуд находится зависимость от частоты вынуждающих колебаний амплитуды и фазы вынужденных колебаний в консервативной системе. Определяется ширина резонансной кривой для вынужденных колебаний в линейной системе с одной степенью свободы. Находится зависимость ширины резонансной кривой от добротности системы. Находится увеличение амплитуды колебаний при резонансе.

На практических занятиях студенты учатся строить АЧХ и ФЧХ колебательного контура, добавлять на график дополнительную поясняющую информацию, представлять график в разных масштабах, делать вставки в график, представлять несколько зависимостей на одной картинке. Контроль выполнения приведен в ФОС 4.1.2.

Самостоятельная работа студентов состоит в выводе уравнения ширины характеристики.

**Тема 7. Вынужденные колебания в нелинейной системе с одной степенью свободы без диссипации энергии (задача Дуффинга). Резонанс в нелинейном осцилляторе при силовом возбуждении. Феррорезонанс. Расчет АЧХ колебательного контура на примере импульсного резонансного блока питания радиоэлектронной аппаратуры.**

Приводятся примеры нелинейных систем: математический маятник и колебательный контур, с катушкой намотанной на ферромагнитном сердечнике. Приводится пример автоамортизаторов, использующих нелинейность. Ставится задача Дуффинга для вынужденных колебаний в нелинейной системе с одной степенью свободы. Дается метод гармонического баланса. Записывается уравнений колебаний в нелинейной системе без диссипации энергии. Уравнение приводится к собственному времени. Ищется решение уравнений колебаний в нелинейной системе без диссипации энергии методом гармонического баланса. Приводится метод работы ферромагнитного стабилизатора. Вводятся понятия жесткой и мягкой характеристики. Дается определение метода гармонического баланса. Делаются преобразование в собственное время и вводится относительная расстройка частоты. С помощью метода гармонического баланса выводится АЧХ для консервативной нелинейной системе с одной степенью свободы. Строится АЧХ, анализируется предельных переход к линейным системам. Объясняется принцип работы феррорезонансного стабилизатора. Объясняется поведение системы при увеличении и уменьшении частоты. Выводится уравнение для зоны неустойчивости системы. С помощью метода гармонического баланса выводится АЧХ для неконсервативной нелинейной системы с одной степенью свободы. Строится АЧХ, анализируется предельных переход к линейным системам. Объясняется поведение системы при увеличении и уменьшении частоты.

На практических занятиях разбирается устройство импульсного блока питания резонансного типа, и его особенности работы. Студенты учатся строить АЧХ нелинейной системе с использованием численного решения алгебраических уравнений. Контроль выполнения приведен в ФОС 4.1.5.

Самостоятельная работа студентов состоит в расчете зоны неустойчивости и области феррорезонанса.

**Тема 8. Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Примеры генераторов. Уравнения Ван-дер-Поля и Релея. Фазовый портрет. Частота генерируемых колебаний. Мягкое и жесткое самовозбуждение. Интерполяция данных сплайнами. Численное интегрирование и дифференцирование. Построение фазового портрета автоколебательных систем. Изучение явления синхронизации и затягивания.**

Дается определение автоколебательных систем томсоновского и релаксационного типов. Рассматриваются примеры автоколебательных систем на основе полевого транзистора, туннельного диода и по схеме индуктивной трехточки. Дается определение мгновенной крутизны. Выводится условие самовозбуждения генератора. Делается аппроксимация мгновенной крутизны полиномом третьей степени. Выводится уравнение Ван-дер-Поля. Дается уравнение Релея. Уравнение Ван-дер-Поля и Релея переводятся в собственное время. Строится фазовый портрет для автоколебательных систем, описываемых уравнениями Ван-дер-Поля и Релея. Определяется частота автоколебаний. Даются условия для построения генератора гармонических сигналов. Описывается метод средней крутизны. Дается определение мягкого и жесткого режимов самовозбуждения.

На практических занятиях разбирается устройство генераторов РЭА и особенности работы при аналоговой и цифровой реализации. Студенты учатся использовать в расчетах характеристики элементов РЭА, данных в графическом или дискретном виде, определять режим работы генератора исходя из вида фазового портрета. Контроль выполнения приведен в ФОС 4.1.6.

Самостоятельная работа студентов состоит в анализе качества рассчитанного генератора при различных параметрах.

**Тема 9. Автоколебательные системы с одной степенью свободы в неавтономном режиме. Синхронизация захватыванием и гашением собственных колебаний. Полоса синхронизации. Автоколебательные системы с запаздывающей связью. Основы теории управления. Использование теории решения дифференциальных уравнений в системах реального времени. Автоколебательная система с запаздыванием отклика.**

Вводятся мягкое и жесткое самовозбуждение. Условие для жесткого самовозбуждения. Рассматриваются автоколебательные системы с одной степенью свободы в неавтономном режиме. Приводится пример синхронизации захватыванием и гашением собственных колебаний. Дается зависимость полоса синхронизации от добротности контура и амплитуды воздействия. Вводятся автоколебательные системы с запаздывающей связью. Пропорциональный - интегральный - дифференциальный регулятор. Термостабилизация. Станки с ЧПУ, 3d принтеры и теория колебаний. Основы теории управления.

На практических занятиях студенты учатся правильно использовать Фурье преобразование, для анализа спектра выходного сигнала РЭА. Исходя из спектра добиваются подбором параметров работы генератора в указанном режиме. Получают навыки настройки одного из наиболее часто встречающегося в CNC модуля - PID регулятора. Контроль выполнения приведен в ФОС 4.1.7 и ФОС 4.1.8.

Самостоятельная работа студентов состоит в наблюдении в специальной программе различных режимов работы генератора



**Тема 10. Метод медленно меняющихся амплитуд. Координаты Ван-дер-Поля. Метод медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Решение уравнения Ван дер Поля.**

Вводится вращающаяся система координат. Даются определения координат Ван-дер-Поля. Дается определение метода медленно-меняющихся амплитуд. Выводятся выражения для укороченных уравнений метода медленно меняющихся амплитуд в координатах Ван-дер-Поля. Даются преимущества и недостатки метода медленно меняющихся амплитуд. Приводится применение метода медленно меняющихся амплитуд для линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы. Даются определения полярных координат. Выводятся выражения для укороченных уравнений метода медленно меняющихся амплитуд в полярных координатах. Даются преимущества и недостатки метода медленно меняющихся амплитуд. Приводится применение метода медленно меняющихся амплитуд для уравнения Ван дер Поля. Решаются укороченные уравнения для уравнения Ван дер Поля. Строится полученная зависимость амплитуды колебаний от времени.

Самостоятельная работа студентов состоит в сравнении ФП генераторов рассчитанных с помощью метода ММА и обычными способами.

**Тема 11. Релаксационные генераторы. Предельный переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным.**

Объясняется схема работы релаксационного генератора на неоновой лампе. Объясняется схема работы релаксационного генератора на туннельном диоде. Схема релаксационного генератора на элементе с S-образной характеристикой модернизируется. Выводится выражение для фазовой траектории. Дается определение вырожденным системам. Схема релаксационного генератора на элементе с S-образной характеристикой модернизируется в невырожденную систему. Выводится уравнение движения. Строится фазовый портрет методом Ляпунова. Изучается поведение фазовых траекторий при переходе к вырожденным системам. Дается обоснование скачков.

Самостоятельная работа студентов состоит в наблюдении в специальной программе предельного перехода.

**Тема 12. Устойчивость линейных и нелинейных колебательных систем. Параметрический резонанс. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Параметрический усилитель.**

Даются определения устойчивости колебательных систем. Дается определение устойчивости по Ляпунову. Приводится второй метод Ляпунова для поиска устойчивости линейных систем. Приводится второй метод Ляпунова для поиска устойчивости нелинейных систем. Применение второго метода Ляпунова для исследования устойчивости автоколебательных систем, описываемых уравнением Ван дер Поля. Определение параметрических систем. Параметрическая система на примере качелей. Параметрическая система на основе контура с нелинейной емкостью. Вывод укороченных уравнений. Усиление и ослабление собственных колебаний под параметрическим воздействием. Уравнение Матье. Определение коэффициента параметрического усиления. Сшивка уравнения для точек 0 и  $\pi$ . Решение системы алгебраических уравнений. Введение отношения периодов колебаний бета. Поиск областей усиления при крайне малом параметрическом воздействии. Определение областей параметрического резонанса по Мейснеру. Изменение областей параметрического резонанса в случае неконсервативной системы. Параметрический усилитель. Определения сильного и слабого резонанса. Недостатки одноконтурного параметрического усилителя.

Самостоятельная работа студентов состоит из поиска и ознакомления с критериями устойчивости колебательных систем (кроме критериев Ляпунова)

**Тема 13. Системы с двумя степенями свободы. Двухконтурная автоколебательная система. Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы.**

Системы с двумя степенями свободы. Выбор координат, парциальные частоты. Получение уравнения движения для двух связанных контуров. Вывод собственных частот. Проверка выражения для собственных частот при нулевой связи между контурами. Выражения для собственных частот при малой связи между контурами. Расположение собственных частот относительно парциальных. Нулевая расстройка между контурами. Коэффициенты распределения амплитуд на собственных частотах. Выводы из уравнений для коэффициентов распределения амплитуд. Определение нормальных координат. График Вина. Коэффициенты распределения амплитуд при нулевой расстройке. Биения в системе двух связанных контуров. Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. АЧХ и ФЧХ. Фильтр-пробка. АЧХ системы с затуханием. АЧХ системы с нулевой расстройкой, оптимальная связь. Двухконтурная автоколебательная система. Режимы гашения и затягивания.

Самостоятельная работа студентов состоит из расчета и анализа АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания).

**Тема 14. Колебания в однородных цепочках. Вынужденные колебания в однородных цепочках.**

Собственные колебания в линейных системах с n степенями свободы. Модифицированное уравнение Лагранжа. Колебания n-атомной молекулы. Лазер на CO<sub>2</sub>. Определение однородной цепочки колебательных контуров без диссипации энергии. Элемент связи. Вывод уравнения движения для однородной цепочки колебательных контуров. Парциальная частота и коэффициент связи. Дисперсионное уравнение цепочки. Граничные условия. Собственные частоты. Колебания тока в контурах цепочки на s-собственной частоте. Вынужденные колебания в однородных цепочках. Дисперсионное уравнение цепочки. Прямая и обратная волны. Волновое сопротивление цепочки. Согласование нагрузки. Поведение цепочки контуров при частоте генератора вне полосы пропускания. АЧХ однородной цепочки колебательных контуров.

### **Тема 15. Параметрические системы с n-степенями свободы. Двухконтурный параметрический усилитель и преобразователь частоты.**

Построение параметрических систем с n-степенями свободы. Квантование. Передача энергии между элементами. Вывод уравнений Менли-Роу. Двухконтурный регенеративный усилитель. Уравнения Менли-Роу в применении к двухконтурному регенеративному усилителю. Преобразователь частоты. Уравнения Менли-Роу в применении к преобразователю частоты.

### **Тема 16. Колебания в распределенных системах. Автоколебания в распределенных системах. Хаотические колебательные системы. "Эффект бабочки". Странный аттрактор. Фракталы.**

Колебания в распределенных системах. Двухпроводная линия. Телеграфные уравнения. Уравнения распространения волны. Фазовая скорость. Предельный переход от однородной цепочки контуров к системе с распределенными параметрами. Волновое уравнение. Фазовая постоянная или волновое число. Волновое сопротивление линии. Дисперсия в системе с распределенными параметрами. Примеры систем с распределенными параметрами. Автоколебательные системы на основе систем с распределенными параметрами. Построение прецизионных генераторов с дискретно изменяемой частотой.

Хаотические колебательные системы. Примеры хаотических колебательных систем. Фазовый портрет хаотической колебательной системы. Спектр хаотической системы. Аттрактор. Странный аттрактор. Аттрактор Лоренца. Эффект бабочки. Сечение Пуанкаре. Введение в теорию фракталов.

Самостоятельная работа студентов заключается в поиске фрактальной размерности приведенных в лекции колебательных систем.

### **Тема 17. Подведение итогов. Зачет.**

Основные теоремы курса. Интерактивное обсуждение лекций.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

Web оболочка для начных расчетов - <https://repl.it/repls/PortlyEvergreenTrial>

Курс лекций - <http://kpfu.gmamin.ru/to/lecture.php>

Описание мат. пакетов Python - <https://habr.com/post/352678/>

Решение задач - <http://kpfu.gmamin.ru/to/practice.htm>

Самостоятельная работа - <http://kpfu.gmamin.ru/to/selfwork.php>

Самоучитель Python - <https://pythonworld.ru/samouchitel-python>

Страница с самым свежим инсталлятором Python - <https://www.python.org/downloads/>

ЦОР Практические задачи Теории колебаний - <https://edu.kpfu.ru/course/view.php?id=3242>

ЦОР Практические занятия курса "Теория колебаний" - <https://edu.kpfu.ru/course/view.php?id=3242>

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Материалы лекций в формате PDF: - <http://kpfu.gmamin.ru/to/lecture.php>

Материалы практики в формате PDF: - <http://kpfu.gmamin.ru/to/practice.htm>

Самостоятельная работа курса - <http://kpfu.gmamin.ru/to/selfwork.php>

Тесты курса - <http://kpfu.gmamin.ru/to/testTO.php>

ЦОР Практические занятия курса "Теория колебаний" - <https://edu.kpfu.ru/course/view.php?id=3242>

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Основное направление лекций - 'научить применять аппарат теории колебаний'. Для большего понимания физики математических формул используется построение фазовых портретов и других зависимостей - методами подобия, преобразования системы координат, с использованием изоклин и асимптот. Этим достигается качественный анализ колебательных систем, необходимый для понимания механизмов их действия. Для дальнейшего анализа изучаемых колебательных систем могут быть полезны численные методы, в результате которых можно уточнить вид полученных на лекциях кривых и проследить характер их изменений в зависимости от параметров системы и начальных условий.
практические занятия	Для выполнения практических заданий необходимо использование пакета Python с модулями NumPy, SciPy, Matplotlib. В качестве среды рекомендуется некомерческая версия оболочка PyCharm. также может использоваться WEB оболочка <a href="https://repl.it/repls/PortlyEvergreenTrial">https://repl.it/repls/PortlyEvergreenTrial</a> . Рекомендации по выполнению практических заданий подробно изложены в файле <a href="#">tosci_metod.pdf</a> .

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа по усвоению лекционного материала.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ознакомление с классификацией теории колебаний. Ознакомление с основами радиоэлектроники.</li> <li>2. Расчет фазового портрета линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Расчет фазовых траекторий линейной консервативной системы с одной степенью свободы при изменении частоты (web-приложение №1).</li> <li>3. Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае положительного и отрицательного затухания. Влияние добротности на фазовые траектории (web-приложение №1).</li> <li>4. Расчет фазового портрета линейной неконсервативной системы с одной степенью свободы в случае сильного затухания. Влияние начальных условий на траекторию движения (web-приложение №1). Расчет фазового портрета линейной системы с отталкивающей силой (web-приложение №2)</li> <li>5. Расчет фазового портрета математического маятника. Расчет фазового портрета системы с сухим трением. (web-приложение №3-4). Расчет фазового портрета методом Льенара (web-приложение №5)</li> <li>6. Расчет АЧХ и ФЧХ колебательного контура (вынужденные колебания) (web-приложение №6). Изучение элементов теории регистрирующих систем.</li> <li>7. Расчет АЧХ нелинейного колебательного контура (вынужденные колебания) (web-приложение №7).</li> <li>8. Расчет фазового портрета автоколебательной системы при различных параметрах системы. Условие самовозбуждения. Мягкий, жесткий режимы самовозбуждения (web-приложение №8).</li> <li>9. Расчет фазового портрета автоколебательной системы (уравнение Ван-дер-Поля) методом медленно-меняющихся амплитуд (web-приложение №9).</li> <li>10. Релаксационные генераторы. Переход от невырожденных колебательных систем к вырожденным (web-приложение №10).</li> <li>11. Ознакомление с критериями устойчивости колебательных систем (кроме критериев Ляпунова) (Нелинейные колебания / А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин Изд-во Москва 'Физматлит' 2002, 292 с.).</li> <li>12. Расчет параметрически регенерированного контура. (web-приложение №11). Случаи усиления и ослабления колебаний.</li> <li>13. Расчет собственных колебаний в двух связанных контурах. Наблюдение перераспределения энергии из одного контура в другой. (web-приложение №12).</li> <li>14. Расчет АЧХ и ФЧХ двух связанных контуров (вынужденные колебания). (web-приложение №13).</li> <li>15. Системы с многими степенями свободы. Расчет колебаний трехатомной линейной молекулы (Дополнения к лекциям.). Ознакомление с основами квантовой механики. Квант, энергия, уровни энергии.</li> <li>16. Колебательные системы с распределенными параметрами. Определение волнового сопротивления коаксиального кабеля. (web-приложение №14).</li> <li>17. Расчет фазового портрета хаотической системы (web-приложение №15).</li> </ol>
зачет	<p>Зачет проводится путем теста из 25 вопросов.</p> <p>Тестирование может проводиться в двух режимах:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>режиме обучения - когда вопросы выбираются только из одной темы и после каждого неверного ответа выдается правильный ответ. Отключен на время сдачи зачета;</li> <li>режиме тестирования - список вопросов затрагивает все темы курса, тестирование максимально приближено к зачету.</li> </ul> <p>Для прохождения теста без учета результата выбирайте группу "Тренировка".</p> <p>Для первых студентов в списке группы надо выбрать любую другую позицию, а затем вернуться на нужный пункт.</p> <p>Все результаты, когда выбрана группа и ФИО, считаются окончательными (даже если тест не завершен) и будут учитываться на зачете (среднее арифметическое).</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки "Информационные процессы и киберфизические системы".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Информационные процессы и киберфизические системы

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

#### Основная литература:

1. Кузнецов, С. И. Физика. Механика. Механические колебания и волны. Молекулярная физика. Термодинамика : учебное пособие / С. И. Кузнецов. - 4-е изд., испр. и доп. - Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2020. - 248 с. - ISBN 978-5-9558-0317-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1084382> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Паршаков, А. Н. Современное введение в физику колебаний: учебное пособие / А.Н. Паршаков. - Долгопрудный : Интеллект, 2013. - 240 с. - ISBN 978-5-91559-154-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/486426> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
3. Алдошин, Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний : учебное пособие / Г. Т. Алдошин. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1460-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211076> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Скубов, Д. Ю. Основы теории нелинейных колебаний : учебное пособие / Д. Ю. Скубов. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1470-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/211349> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Паршаков, А. Н. Физика в ключевых задачах. Механика. Колебания. Акустика: учебное пособие/ А.Н. Паршаков. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 240 с. ISBN 978-5-91559-133-1, 3000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/420925> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Канцедал, С. А. Дискретная математика : учебное пособие / С. А. Канцедал. - Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. - 222 с. - ISBN 978-5-8199-0719-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1843569> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
3. Белов, М. И. Теоретическая механика : учебное пособие / М.И. Белов, Б.В. Пылаев. - Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2022. - 335 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-01574-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1846427> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
4. Доев, В. С. Сборник заданий по теоретической механике на базе MATHCAD : учебное пособие / В. С. Доев, Ф. А. Доронин. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 592 с. - ISBN 978-5-8114-0821-4. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210245> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Брандин, В. Н. Размерностная сложность. Интеллект/ В.Н. Брандин. - Москва : Физматлит, 2008. - 168 с.: ISBN 978-5-9221-0954-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/544723> (дата обращения: 12.05.2023). - Режим доступа: по подписке.

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Информационные процессы и киберфизические системы

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.