

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кубанский государственный университет»  
Факультет физико-технический

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

Хагуров Т.А.

20 апреля 2020 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Б1.Б23 ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ**

Направление подготовки 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль): Радиофизические методы по областям применения (биофизика)

Программа подготовки академическая

Форма обучения очная

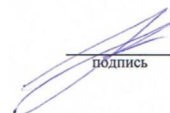
Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Краснодар 2020

Рабочая программа дисциплины «Теория колебаний» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки (профиль) 03.03.03 «Радиофизика».

Программу составил

Г.Ф. Копытов, профессор, доктор ф.-м. наук



подпись

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры (выпускающей) радиофизики и нанотехнологий Протокол № 6 от 20 апреля 2020 года.

Заведующий кафедрой (выпускающей)

Г.Ф. Копытов, профессор, доктор ф.-м. наук



подпись

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры (выпускающей) радиофизики и нанотехнологий Протокол № 6 от 20 апреля 2020 года.

Заведующий кафедрой (выпускающей)

Г.Ф. Копытов, профессор, доктор ф.-м. наук



подпись

Заведующий кафедрой (разработчика)

Г.Ф. Копытов, профессор, доктор ф.-м. наук



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета, протокол № 9 от 20 апреля 2020 года.

Председатель УМК физико-технического факультета

Н.М. Богатов, профессор, доктор ф.-м. наук



подпись

Рецензент:

Ю.С. Медведев, доктор тех. наук, профессор, заведующий 103 кафедрой математики и информатики Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков им. Героя Советского Союза А.К. Серова

## 1. Цели и задачи изучения дисциплины.

### 1.1 Цель дисциплины.

Целью преподавания дисциплины «Теория колебаний» является изучение общих свойств колебательных процессов в системах с одной и несколькими степенями свободы, линейных, нелинейных, связанных и параметрических осцилляторов.

### 1.2 Задачи дисциплины.

Основные задачи дисциплины:

- ознакомить студентов с методами теории колебаний;
- ознакомить студентов с приложениями теории колебаний в задачах радиофизики, оптики и др.

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Теория колебаний» относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Для успешного изучения дисциплины необходимы знания общего курса физики, курсов «Теоретическая механика», «Электричество и магнетизм», и основ математического анализа, теории дифференциальных уравнений. Освоение дисциплины необходимо для изучения других дисциплин в рамках подготовки бакалавров, и для последующего обучения в магистратуре.

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся общепрофессиональных компетенций (ОПК)

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ОПК-1	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности	основные понятия теории механических и электромагнитных колебаний, основные типы колебаний, их характеристики и способы описания, основные закономерности и колебательных процессов,	выбирать необходимые параметры для решения конкретных задач теории колебаний;	практическим и навыками в обработке данных, выполнении расчетов, решении задач

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
			принципиальные схемы колебательных устройств (в основном радиотехнических); методы графического и аналитического представления колебаний		

## 2. Структура и содержание дисциплины.

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для студентов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		5			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>74</b>	<b>74</b>			
В том числе:					
Занятия лекционного типа	36	36			
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)	36	36			
КСР	2	2			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>34</b>	<b>34</b>			
В том числе:					
Курсовая работа	8	8			
Проработка учебного (теоретического) материала	11	11			
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	8	8			
Подготовка к текущему контролю	7	7			
Вид промежуточной аттестации - зачет	6	6			
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>час</b>	<b>108</b>	<b>108</b>		
	<b>зач. ед.</b>	3	3		

## 2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.  
Разделы дисциплины, изучаемые в 5 семестре (для студентов ОФО)

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	СРС	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Введение в теорию колебаний. Гармонические колебания в линейных бездиссипативных системах с одной степенью свободы		4	4	1	4
2.	Колебания в линейных диссипативных системах с одной степенью свободы		4	4	–	4
3.	Колебания в цепях переменного тока		4	4	1	4
4.	Колебания в линейных системах с несколькими степенями свободы		4	4	–	4
5.	Гармонические колебания в системах с бесконечным числом степеней свободы. Волновые процессы		4	4	-	4
6.	Устойчивость колебательных систем		4	4	–	4
7.	Параметрические колебания		4	4	–	4
8.	Распространение электромагнитных волн в периодически-неоднородных средах		4	4	–	4
9.	Качественное и количественное рассмотрение нелинейных колебательных систем		4	4	1	2
	Итого по дисциплине	108	36	36	2	34

## 2.3 Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1 Занятия лекционного типа.

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Введение в теорию колебаний. Гармонические колебания в линейных бездиссипативных системах с одной степенью свободы	Введение. Круг задач, решаемых теорией колебаний. Терминология и математический аппарат теории колебаний. Свободные колебания в системах с одной степенью свободы. Примеры колебательных систем с одной степенью свободы и их анализ. Колебания в системах с одной степенью свободы под действием вынуждающей	Устный опрос, решение задач

		силы.	
2.	Колебания в линейных диссипативных системах с одной степенью свободы	Свободные колебания в диссипативных колебательных системах с одной степенью свободы. Качественное рассмотрение колебаний в диссипативных системах при различных законах трения. Случаи: сухого трения, линейного трения, квадратичного трения. Вынужденные колебания в линейных диссипативных системах. Резонанс.	Устный опрос, решение задач
3.	Колебания в цепях переменного тока	Сложение гармонических колебаний. Векторные диаграммы. Фигуры Лиссажу. Колебания в цепях переменного тока. Индуктивное, емкостное и активное сопротивление	Устный опрос, решение задач
4.	Колебания в линейных системах с несколькими степенями свободы	Колебания в линейных системах с двумя степенями свободы. Связь: индуктивная, емкостная, смешанная. Собственные колебания системы с двумя степенями свободы. Нормальные колебания. Парциальные и собственные частоты. Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. Успокоение колебаний. Колебания в линейных системах с $n$ степенями свободы. Матричная форма записи уравнений колебаний в линейных системах. Нормальные колебания	Устный опрос, решение задач
5.	Гармонические колебания в системах с бесконечным числом степеней свободы. Волновые процессы	Колебания в однородных цепочках (одномерная модель кристалла с одним атомом в элементарной ячейке). Дисперсионное уравнение для однородной цепочки и его анализ. Колебания в неоднородных цепочках (одномерная модель кристалла с двумя атомами в элементарной ячейке). Дисперсионное уравнение для неоднородной цепочки и его анализ. Вынужденные колебания в системе свободных зарядов. Плазменные колебания. Вынужденные колебания в системе невзаимодействующих осцилляторов. Элементарная теория дисперсии электромагнитных волн в конденсированных средах. Нормальная и аномальная дисперсия.	Устный опрос, решение задач
6.	Устойчивость	Устойчивость по Ляпунову,	Устный опрос,

	колебательных систем	асимптотическая устойчивость. Устойчивость колебательных систем с дискретным спектром. Критерий Рауса-Гурвица. Понятие о D-анализе устойчивости колебательных систем. Преобразование Лапласа и его свойства. Устойчивость неавтономных систем.	решение задач
7.	Параметрические колебания	Параметрические колебания и параметрическая неустойчивость. Теорема Флоке-Блоха. Параметрический резонанс.	Устный опрос, решение задач
8.	Распространение электромагнитных волн в периодически-неоднородных средах	Общие свойства периодически-неоднородных сред, методы их создания. Фотонные кристаллы. Периодические неоднородные среды, имеющие синусоидальный профиль неоднородности. Дисперсионное уравнение. Периодические неоднородные среды со ступенчатой неоднородностью: точное решение задачи о распространении электромагнитной волны	Устный опрос, решение задач
9.	Качественное и количественное рассмотрение нелинейных колебательных систем	Качественное рассмотрение нелинейных колебательных систем, их фазовые портреты. Точное решение задачи о математическом маятнике. Понятие о методе медленно меняющихся амплитуд (ММА). Исследование генератора Томсона с помощью метода ММА. Общие методы исследования нелинейных динамических систем.	Устный опрос, решение задач

### 2.3.2 Занятия семинарского типа.

№	Наименование раздела	Тематика практических занятий (семинаров)	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Введение в теорию колебаний. Гармонические колебания в линейных бездиссипативных системах с одной степенью свободы	Введение. Круг задач, решаемых теорией колебаний. Терминология и математический аппарат теории колебаний. Свободные колебания в системах с одной степенью свободы. Примеры колебательных систем с одной степенью свободы и их анализ. Колебания в системах с одной степенью свободы под действием вынуждающей силы.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
2.	Колебания в линейных диссипативных системах с одной	Свободные колебания в диссипативных колебательных системах с одной степенью свободы. Качественное рассмотрение колебаний в	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания

	степенью свободы	диссипативных системах при различных законах трения. Случаи: сухого трения, линейного трения, квадратичного трения. Вынужденные колебания в линейных диссипативных системах. Резонанс.	
3.	Колебания в цепях переменного тока	Сложение гармонических колебаний. Векторные диаграммы. Фигуры Лиссажу. Колебания в цепях переменного тока. Индуктивное, емкостное и активное сопротивление	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
4.	Колебания в линейных системах с несколькими степенями свободы	Колебания в линейных системах с двумя степенями свободы. Связь: индуктивная, емкостная, смешанная. Собственные колебания системы с двумя степенями свободы. Нормальные колебания. Парциальные и собственные частоты. Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. Успокоение колебаний. Колебания в линейных системах с $n$ степенями свободы. Матричная форма записи уравнений колебаний в линейных системах. Нормальные колебания	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
5.	Гармонические колебания в системах с бесконечным числом степеней свободы. Волновые процессы	Колебания в однородных цепочках (одномерная модель кристалла с одним атомом в элементарной ячейке). Дисперсионное уравнение для однородной цепочки и его анализ. Колебания в неоднородных цепочках (одномерная модель кристалла с двумя атомами в элементарной ячейке). Дисперсионное уравнение для неоднородной цепочки и его анализ. Вынужденные колебания в системе свободных зарядов. Плазменные колебания. Вынужденные колебания в системе взаимодействующих осцилляторов. Элементарная теория дисперсии электромагнитных волн в конденсированных средах. Нормальная и аномальная дисперсия.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
6.	Устойчивость колебательных систем	Устойчивость по Ляпунову, асимптотическая устойчивость. Устойчивость колебательных систем с дискретным спектром. Критерий Рауса-Гурвица. Понятие о D-анализе устойчивости колебательных систем. Преобразование Лапласа и его свойства.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания



		Устойчивость неавтономных систем.	
7.	Параметрические колебания	Параметрические колебания и параметрическая неустойчивость. Теорема Флоке-Блоха. Параметрический резонанс.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
8.	Распространение электромагнитных волн в периодически-неоднородных средах	Общие свойства периодически-неоднородных сред, методы их создания. Фотонные кристаллы. Периодические неоднородные среды, имеющие синусоидальный профиль неоднородности. Дисперсионное уравнение. Периодические неоднородные среды со ступенчатой неоднородностью: точное решение задачи о распространении электромагнитной волны	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания
9.	Качественное и количественное рассмотрение нелинейных колебательных систем	Качественное рассмотрение нелинейных колебательных систем, их фазовые портреты. Точное решение задачи о математическом маятнике. Понятие о методе медленно меняющихся амплитуд (ММА). Исследование генератора Томсона с помощью метода ММА. Общие методы исследования нелинейных динамических систем.	Проверочная контрольная работа, проверка домашнего задания

### 2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

1. Электронные приборы СВЧ.
2. Детектирование.
3. Взаимодействие релятивистских частиц с лазерным излучением.
4. Спектральные и поляризационные характеристики модулированной электромагнитной волны.
5. Движение заряженной частицы в поле частотно-модулированной электромагнитной волны.
6. Движение и излучение релятивистской частицы в поле лазерного импульса (в гауссовом пучке).
7. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях в вакууме.
8. Движение заряженной частицы в поле плоской монохроматической электромагнитной волны и постоянном однородном магнитном поле.
9. Излучение заряженной частицы в поле амплитудно-модулированной волны.
10. Угловое распределение синхротронного излучения.
11. Исследование аналоговых сигналов. Применение их в модуляторах.
12. Исследование модулированных сигналов и их применение в аналоговых и цифровых модуляторах.
13. Криоэлектроника. Сверхпроводные цифровые и импульсные устройства.
14. Спектральные методы.
15. Интегральные микросхемы, их классификация и технология изготовления.
17. Расчет фрактальных антенн.
18. Фотоэффект и приборы на его основе.
19. Ондюляторное излучение. Вигглеры.

## 20. Полевые транзисторы.

Методические указания по выполнению курсовых проектов:  
<https://moodle.kubsu.ru/enrol/index.php?id=378>

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

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Проработка учебного (теоретического) материала	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
2	Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
3	Подготовка к текущему контролю	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.
4	Подготовка к практическим занятиям	Методические указания по решению задач по дисциплине «Теория колебаний», утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от «20» марта 2017 г.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

### 3. Образовательные технологии

Для проведения всех лекционных занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержимого, позволяющего слушателю воспринимать особенности изучаемой профессии, зачастую играющие решающую роль в понимании и восприятии, а также формировании профессиональных компетенций.

Большая часть лекций и практические занятия проводятся с использованием доски и справочных материалов.

### 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

**текущий контроль:** проверка домашних заданий по семинарским занятиям. Ответы на контрольные вопросы, приведенные в описаниях работ и на дополнительные вопросы, касающиеся соответствующих разделов основной дисциплины.

**итоговый контроль:** зачет.

#### **4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации.**

##### **Контрольные вопросы**

1. Линейный осциллятор. Линейные динамические системы. Консервативные системы.
2. Фазовый портрет линейного осциллятора. Понятие фазовой траектории. Фазовые портреты линейных систем с одной степенью свободы.
3. Фазовые портреты линейных осцилляторов с учётом потерь. Периодический и аperiodический режимы.
4. Резонанс в линейных колебательных системах с одной степенью свободы. Резонанс в системе с конечной добротностью.
5. Анализ поведения системы при воздействии произвольной вынуждающей силы.
6. Колебательные системы с несколькими степенями свободы. Колебания связанных осцилляторов. Нормальные и парциальные частоты.
7. Эффект динамического демпфирования. Теорема взаимности.
8. Колебания в ансамбле невзаимодействующих линейных осцилляторов. Классическая теория дисперсии света. Формула Зейльмейера.
9. Предел Лоренца. Учёт нетождественности осцилляторов.
10. Устойчивость линеаризованных систем с дискретным спектром. Устойчивость по Ляпунову.
11. Устойчивость сосредоточенных систем с постоянными параметрами. Критерий Рауса-Гурвица. Устойчивость неавтономных систем.
12. Параметрические колебательные системы. Резонансные и нерезонансные параметрические системы. Уравнение Матье.
13. Устойчивость параметрических систем. Теорема Флоке. Параметрический резонанс.
14. Колебания в нелинейных системах. Примеры нелинейных осцилляторов. Фазовый портрет нелинейного осциллятора. Неизохорность нелинейных осцилляторов.
15. Нелинейный резонанс. Анализ поведения осциллятора с малой нелинейностью.
16. Нелинейный параметрический резонанс.
17. Периодические автоколебания в диссипативных (неконсервативных) системах. Предельные циклы. Мягкий и жёсткий режимы возбуждения.

18. Аттракторы. Влияние параметров системы на форму автоколебаний. Метод изоклин.

### Практические задания

1. Напишите уравнение движения математического маятника без учета трения при малых и немалых углах отклонения с пояснением всех величин.

2. Напишите уравнение движения груза на пружине при наличии трения и его решение с пояснением всех величин.

3. Напишите уравнение, описывающее колебания в колебательном контуре с учетом активного сопротивления, и его решение с пояснением всех величин.

4. Постройте семейство фазовых траекторий, описывающих движение линейной консервативной системы

5. Постройте семейство фазовых траекторий, описывающих движение линейной неконсервативной системы

6. Постройте семейство фазовых траекторий, описывающих вращательное движение математического маятника

7. По какой зависимости можно судить об устойчивости автоколебаний в системе? Постройте эту зависимость.

8. Постройте бифуркационные диаграммы для мягкого и жесткого режимов автоколебаний. В чем их различия?

9. Запишите условия для параметрического резонанса. Как влияет амплитуда колебаний параметра и трение на эти условия? Постройте диаграмму условий параметрического резонанса

10. Постройте резонансную кривую для случая вынужденных колебаний в нелинейной консервативной системе с одной степенью свободы с мягкой восстанавливающей силой.

11. Как зависит частота колебаний от их амплитуды в случае жесткой и мягкой возвращающей силы. Построить график.

12. Постройте семейство фазовых траекторий, описывающих движение линейной неконсервативной системы методом изоклин.

## Модуль 1.

- } Линейный осциллятор.
- } Понятие фазовой траектории. Фазовые портреты линейных систем с одной степенью свободы. Фазовые портреты линейных осцилляторов с учётом потерь.
- } Периодический и аperiodический режимы.

## Модуль 2.

- } Колебания связанных осцилляторов. Нормальные и парциальные частоты. Эффект динамического демпфирования. Теорема взаимности.
- } Колебания в ансамбле невзаимодействующих линейных осцилляторов. Формула Зейльмейера. Предел Лоренца. Учёт нетождественности осцилляторов.
- } Устойчивость линеаризованных систем по Ляпунову. Устойчивость сосредоточенных систем с постоянными параметрами. Критерий Рауса-Гурвица. Устойчивость неавтономных систем.
- } Резонансные и нерезонансные параметрические системы. Уравнение Матье. Устойчивость параметрических систем. Теорема Флоке.

## Модуль 3.

- } Колебания в нелинейных системах. Примеры нелинейных осцилляторов. Фазовый портрет нелинейного осциллятора. Неизохорность нелинейных осцилляторов.
- } Нелинейный резонанс. Анализ поведения осциллятора с малой нелинейностью. Нелинейный параметрический резонанс.
- } Периодические автоколебания в диссипативных системах. Мягкий и жёсткий режимы возбуждения. Аттракторы. Влияние параметров системы на форму автоколебаний.

### Примерные задания для контрольной работы.

□ Емкость в колебательном контуре меняется через равные интервалы времени  $t$  от  $C_1$  до  $C_2$  и обратно, причем  $\Delta C = C_2 - C_1 \ll C_0 = (C_1 + C_2)/2$ . На плоскости параметров  $(\Delta C/C_0, \omega_0 t)$ ,  $\omega_{20} = 1/LC_0$ , найдите зоны параметрической неустойчивости системы.

Ответ:  $\delta \approx \pm(\Delta C/4C_0)$ .

□ Исследовать устойчивость по Ляпунову нулевого решения системы  $\dot{x} = 3x^3$ ,  $\dot{y} = 6x^2 y$ .

Ответ: по второй теореме Ляпунова нулевое решение системы асимптотически устойчиво.

□ В конденсаторе колебательного контура находится один электрон. Получите уравнения связанных колебаний заряда в контуре и электрона в конденсаторе. Оцените, на

сколько изменится собственная частота контура из-за присутствия электрона. Конденсатор считать плоским.

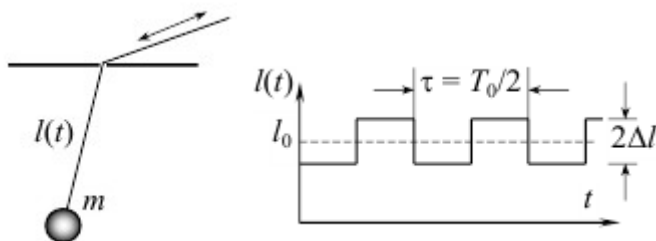
Ответ:  $\omega^2(\omega^2 - \omega_0^2) \approx \frac{e^2 \omega_0^2}{mCd^2}$ ,

1. Исследуйте устойчивость нулевого решения, построив функцию Ляпунова

$$\dot{x} = -x + y + xy, \quad \dot{y} = x - y - x^2 - 2y^5$$

2. Математический маятник имеет длину  $l$  и находится в покое. В момент времени  $t = 0$  грузу маятника с помощью толчка сообщают скорость  $v_0$ . Найти закон изменения во времени угла отклонения маятника от вертикали, считая, что при колебаниях маятника на его грузик действует сила вязкого трения  $F_{\text{тр}} = h\dot{x}$ , где  $\dot{x}$  - скорость грузика. Колебания маятника считать малыми.

3. Длина нити  $l$  математического маятника (см. рисунок) периодически изменяется на величину  $2\Delta l$  по закону меандра (см. рисунок) с периодом  $\tau = T_0/2$ , где  $T_0$  - период колебаний маятника при  $l = l_0$ , где  $l_0$  - среднее значение длины нити. Считая, что при движении маятника проявляются силы вязкого трения, а добротность маятника равна  $Q$ , найти условие параметрического возбуждения колебаний.



4. В последовательный колебательный контур, состоящий из индуктивности  $L$ , емкости  $C$  и резистора  $R_0$ , включен элемент с падающим участком на вольтамперной характеристике. Рабочая точка этого элемента выбрана таким образом, что падение напряжения на элементе с током, текущим через него, соотношением:  $u = -S_1 i + S_3 i^3$ . Пользуясь методом медленно меняющихся амплитуд найти стационарные режимы и исследовать их устойчивость.

#### 4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

##### Вопросы к зачету

1. Свободные колебания в консервативных системах с одной степенью свободы.
2. Примеры колебательных систем с одной степенью свободы и их анализ.

3. Колебания в системах с одной степенью свободы под действием вынуждающей силы. Вынужденные колебания в линейной системе при гармоническом силовом воздействии.

4. Свободные колебания в диссипативных колебательных системах с одной степенью свободы. Качественное рассмотрение колебаний в диссипативных системах при различных законах трения. Случаи: сухого трения, линейного трения, квадратичного трения.

5. Вынужденные колебания в линейных диссипативных системах. Резонанс.

6. Сложение гармонических колебаний. Векторные диаграммы. Фигуры Лиссажу.

7. Колебания в цепях переменного тока. Индуктивное, емкостное и активное сопротивление.

8. Колебания в линейных системах с двумя степенями свободы. Связь: индуктивная, емкостная, смешанная.

9. Собственные колебания системы с двумя степенями свободы. Нормальные колебания. Парциальные и собственные частоты.

10. Вынужденные колебания в системах с двумя степенями свободы. Успокоение колебаний.

11. Колебания в линейных системах с  $n$  степенями свободы. Матричная форма записи уравнений колебаний в линейных системах. Нормальные колебания

12. Колебания в однородных цепочках. Дисперсионное уравнение и его анализ.

13. Колебания в неоднородных цепочках. Дисперсионное уравнение и его анализ.

14. Вынужденные колебания в системе свободных зарядов. Плазменные колебания.

15. Вынужденные колебания в системе невзаимодействующих осцилляторов. Элементарная теория дисперсии электромагнитных волн в конденсированных средах. Нормальная и аномальная дисперсия.

16. Устойчивость колебательных систем с дискретным спектром. Критерий Рауса-Гурвица.

17. Устойчивость неавтономных систем.

18. Параметрические колебания и параметрическая неустойчивость.

19. Теорема Флоке-Блоха. Параметрический резонанс.

20. Периодические неоднородные среды, синусоидальный профиль неоднородности.

21. Периодические неоднородные среды со ступенчатой неоднородностью

22. Параметрический резонанс при воздействии на систему с частотой, много

большой частоты собственных колебаний.

23. Качественное рассмотрение нелинейных колебательных систем, их фазовые портреты.

24. Точное решение задачи о математическом маятнике.

25. Генератор Томсона. Общие методы исследования нелинейных динамических систем.

## **5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля).**

### **5.1 Основная литература:**

1. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний: учебник. - СПб.: Лань, 2005. - ISBN 5811406142.

2. Стрелков С.П., Введение в теорию колебаний: -Лань, 2005 ISBN:5-8114-0614-2 [https://e.lanbook.com/book/603#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/603#book_name).

3. Горелик Г.С. Колебания и волны: учебное пособие - М.: Физматлит, 2007  
ISBN: 978-5-9221-0776-1 [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=68389&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=68389&sr=1)

4. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=68395&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=68395&sr=1)

5. Каганов В.И. Колебания и волны в природе и технике: учебное пособие для вузов. - 2015

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Яблонский А.А., Курс теории колебаний: учебное пособие, Изд. 4-е, СПб., Лань, 2003, 248 с., ISBN 5811405197.
2. Дубнищев Ю.Н., Колебания и волны: учебное пособие для студентов, Новосибирский гос. техн. ун-т., 2-е изд., испр. и доп., Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2004., 323 с., ISBN 5940871062.
3. Трубецков Д. И., Введение в синергетику. Колебания и волны, Изд. 2-е, испр. и доп., М.: [Едиториал УРСС], 2003, 220 с., ISBN 5354005310.
4. Кузнецов А.П., Линейные колебания и волны: сборник задач: учебное пособие для студентов вузов; Федеральная целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования фундамент. науки на 1997-2000 годы". - М.: Физматлит, 2001. 128 с. ISBN 5940520235.
5. Карлов Н.В., Колебания, волны, структуры. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 496 с. - ISBN 5922102052.
6. Алдошин Г.Т., Теория линейных и нелинейных колебаний, Лань ISBN: 978-5-8114-1460-4, Год: 2013, Издание: 2-е, 320 страниц, <https://e.lanbook.com/book/4640#authors>
7. Комаров И.В., Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний, Издательство "Горячая линия-Телеком", 2010, 392 с., ISBN:978-5-9912-0103-2, <https://e.lanbook.com/book/5165#authors>



8. Скубов Д.Ю., Основы теории нелинейных колебаний, Издательство: "Лань" ISBN:978-5-8114-1470-3 2013 <https://e.lanbook.com/book/30203#authors>
9. Глэдвелл Г. М. Л., Обратные задачи теории колебаний /; пер. с англ. А. С. Матвеева и Е. М. Крейнс; под науч. ред. А. Э. Гутермана. - М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2008; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2008. - 607 с.: ил. - Библиогр.: с. 577-602. - ISBN 9785939726603

### 5.3. Периодические издания:

1. В мире науки.
2. Известия ВУЗов. Серия: Радиофизика.
3. Известия ВУЗов. Серия: Радиоэлектроника.
4. Известия ВУЗов. Серия: Физика.
5. Успехи физических наук.
6. Физика. Реферативный журнал ВИНТИ.
7. Электромагнитные волны и электронные системы.
8. Электроника.
9. Электроника. Реферативный журнал ВИНТИ.
10. Электроника: наука, технология, бизнес.

### 6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля).

1. <http://www.edu.ru/> (Единое окно доступа к образовательным ресурсам).
2. [http://www.edu.ru/db/portal/sites/res\\_page.htm](http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm) (Федеральный образовательный портал)
3. <http://www.scientific.narod.ru/literature.htm> (Каталог научных ресурсов)
4. <http://www.sci-lib.com/> (Большая научная библиотека)
5. [http://www.ph4s.ru/books\\_tehnika.html](http://www.ph4s.ru/books_tehnika.html) (Раздел «Технические науки (радиотехника, радиоэлектроника, электроника, схемотехника, полупроводниковая электроника и др.)» образовательного проекта А.Н. Варгина «Физика, химия, математика студентам и школьникам»)
6. <http://www.rsl.ru/> (Российская государственная библиотека)
7. <http://www.nlr.ru/> (Российская национальная библиотека)
8. <http://www.benran.ru/> (Библиотека РАН по естественным наукам)
9. <http://www.gpntb.ru/> (Государственная публичная научно-техническая библиотека)
10. <http://www.skrutka.ru/sk/tekst.php?id=19> (Онлайн расчет обмоток трансформатора)
11. <http://www.club155.ru/> (Клуб 155 – разнообразные материалы по программированию и схемотехнике)
12. [http://www.radio-stv.ru/radio\\_tehnologii-radio-programm/raschet-mostovogo-vyiprjamitelja](http://www.radio-stv.ru/radio_tehnologii-radio-programm/raschet-mostovogo-vyiprjamitelja) (Программа для расчета мостового выпрямителя)
13. <http://www.soel.ru> (журнал Современная электроника)
14. <http://www.adcomlogod.narod.ru> (сайт интерактивной поддержки проведения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине).

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

На самостоятельную работу студентов отводится 40% времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы студентов организовано в следующих формах:

Самостоятельная работа призвана закрепить теоретические знания и практические навыки, полученные студентами на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Кроме того, часть времени, отпущенного на самостоятельную работу, должна быть использована на освоение теоретического материала по дисциплине и на подготовку к лабораторным занятиям.

Вся работа по организации выбора студентами тем курсовых проектов и закреплению научных руководителей проводится кафедрой оптоэлектроники, совместно с заведующим кафедрой.

Примерная тематика курсового проектирования разрабатывается и ежегодно обновляется кафедрой. Закрепление за студентами тем курсовых проектов производится по их личным заявлениям на имя декана или зав кафедрой, по согласованию с научным руководителем возможно корректировка выбранной темы. В дальнейшем студент и научный руководитель составляет задание с подробным планом по выполнению курсового проекта. Подробная информация по требованиям к курсовому проектированию располагается на сайте кафедры оптоэлектроники в документе Методические указания по выполнению курсовых проектов: <http://ftf.kubsu.ru/htmlfiles/dip/MethodUk2018.rtf> и

<https://moodle.kubsu.ru/enrol/index.php?id=378>

### **Вопросы для самостоятельной работы**

Раздел 1. Свободные колебания в системах с одной степенью свободы. Вынужденные колебания в системах с одной степенью свободы под действием вынуждающей силы. Вынужденные колебания в линейной системе при гармоническом силовом воздействии. Решение задач.

Раздел 2. Колебания в линейных диссипативных системах с одной степенью свободы. Выдача задания №1 для самостоятельной работы, опрос.

Раздел 3. Колебания в цепях переменного тока. Решение задач.

Раздел 4. Колебания в линейных системах с несколькими степенями свободы. Проверка выданного задания № 1, выдача задания № 2

Раздел 5. Гармонические колебания в системах с бесконечным числом степеней свободы. Волновые процессы. Решение задач.

Раздел 6. Устойчивость колебательных систем. Решение задач

Раздел 7. Параметрические колебания. Проверка выданных заданий №№ 1, 2, опрос.

Раздел 8. Распространение электромагнитных волн в периодически-неоднородных средах. Решение задач.

Раздел 9. Качественное и количественное рассмотрение нелинейных колебательных систем. Проверка выданного задания № 2, опрос.

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).**

1. Операционная система MS Windows и Linux.
2. GNU демо пакет программы САПР Micro-Cap.
3. Интегрированное офисное приложение.
4. ПО для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет.
5. GNU и/или GNL пакеты: Свободно распространяющиеся программы моделирования СВЧ устройств MMANA, RFSimm99, smithchart.
6. Программа управления Graphit P4M версия 2 (фирма «МИКРАН»).
7. эмулятор векторного анализатора цепей СОМ-драйвер версии 1.2.16. (фирма «МИКРАН»).

**9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).**

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Аудитория 209С, оснащенная интерактивным проектором и магнитно-маркерной доской.
2.	Семинарские занятия	Аудитории 230С, 317С оснащенные магнитно-маркерной доской
3.	Лабораторные занятия	Лаборатория 205Са, укомплектованная оборудованием необходимым для проведения лабораторных работ
4.	Курсовое проектирование	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет
5.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет
6.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет
7.	Самостоятельная работа	Аудитория 311С, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.