

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
электроники



*Бобрешов А.М.*

30.08.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.О.31 Теория колебаний**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

*03.03.03 Радиофизика*

**2. Профиль подготовки/специализация:**

*Радиофизика и электроника*

**3. Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр***

**4. Форма обучения: *очная***

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: *электроники***

**6. Составители программы: Бобрешов А.М., д.ф.-м.н., профессор**

**7. Рекомендована:**

НМС физического факультета 30.08.2021 протокол № 8

**8. Учебный год: *2024/2025***

**Семестр(ы): *6***

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

изучение основных моделей колебательно-волновых явлений и процессов, их приложение к конкретным физическим (техническим) ситуациям, и развитие общих методов исследования подобных явлений, независимо от их конкретной природы, и составляет предмет теории колебаний. Основными задачами курса являются:

1. Показать студентам, как можно распознавать в сложных, на первый взгляд, колебательно-волновых процессах в конкретных задачах физики или техники основные - (элементарные) колебательные явления и свести исходную проблему к анализу этих моделей.
2. Достичь понимания студентами основных колебательно-волновых явлений на простых моделях и системах (резонанс, устойчивость, параметрическое усиление и генерация, сохранение инвариантов, генерация гармоник и умножение частоты, самомодуляция, нелинейная трансформация волн, рождение хаоса в детерминированных системах и проч.).
3. Познакомить студентов и научить их пользоваться основными методами теории колебаний (методы фазового пространства - качественные методы на фазовой плоскости, метод точечных отображений; асимптотические методы, связанные с усреднением; методы разрывных колебаний и волн; методы, связанные с использованием ЭВМ).

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Теория колебаний» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению Радиофизика. Дисциплина базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению Радиофизика: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности	Знать: основные модели колебательно-волновых явлений и процессов, их приложение к конкретным физическим (техническим) ситуациям, и развитие общих методов исследования подобных явлений, независимо от их конкретной природы
ПК-1	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	Уметь: использовать современные методы исследования основных колебательно-волновых явлений на простых моделях и системах (резонанс, устойчивость, параметрическое усиление и генерация, сохранение инвариантов, генерация гармоник и умножение частоты, самомодуляция, нелинейная трансформация волн, рождение хаоса в детерминированных системах и проч.).
ПК-2	способностью использовать основные методы радиофизических измерений	Владеть: основными методами теории колебаний (методы фазового пространства - качественные методы на фазовой плоскости, метод точечных отображений; асимптотические методы, связанные с усреднением; методы разрывных колебаний и волн; методы, связанные с использованием ЭВМ).

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/144.

Форма промежуточной аттестации *экзамен*.

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		6	
Аудиторные занятия	64	64	
в том числе: лекции	32	32	
практические			
лабораторные	32	32	
Самостоятельная работа	44	44	
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – 36 час.)	36	36	
Итого:	144	144	

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Основные понятия теории колебаний	Предмет теории колебаний. Консервативные колебательные системы. Условия возникновения состояния равновесия. Изохронные и неизохронные колебания.
1.2	Фазовая плоскость и фазовое пространство	Фазовая плоскость. Уравнение фазовой плоскости. Особые точки в нелинейных системах. Фазовый портрет маятника с затуханием. Особая точка типа «центр». Особая точка типа «седло». Устойчивость стационарных движений.
1.3	Классические колебательные системы	Качественное рассмотрение колебаний маятника. Нахождение скорости на сепаратрисе колебаний маятника. Солитон. Нелинейный контур без затухания. Колебания в контуре с нелинейной емкостью р-п перехода. Последовательный колебательный контур. Колебания в контуре с нелинейной емкостью с сегнетоэлектрической солью.
1.4	Диссипативные колебательные системы	Колебательный контур с малым нелинейным затуханием. Линейный контур с постоянным затуханием. Виды трения. Сухое трение. Линейное трение: а) особая точка типа «фокус»; б) особая точка типа «узел»; в) особая точка типа «седло». Квадратичное трение. Вынужденные колебания в нелинейной консервативной системе при гармоническом воздействии. Вынужденные колебания в линейных системах.
1.5	Методы приближенного рассмотрения колебательных систем	Колебания в контуре с нелинейной индуктивностью: а) аппроксимация по Дрейфусу. б) метод последовательных приближений. Метод последовательных приближений. Метод комплексных амплитуд. Метод Льенара. Метод гармонического баланса. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод изоклин. Метод поэтапного рассмотрения.
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Метод Ван-дер-Поля	Квазилинейные системы Уравнение автономной квазилинейной системы Укороченные уравнения Укороченные уравнения для неавтономных систем
2.2	LC-автогенератор синусоидальных колебаний	Условия самовозбуждения автогенератора Укороченные уравнения Стационарный режим работы автогенератора Установление колебаний в автогенераторе Устойчивость стационарной амплитуды Влияние запаздывания на колебания
2.3	Синхронный и асинхронный режимы работы автогенератора	Укороченные уравнения для синхронного режима Анализ укороченных уравнений Асинхронный режим
2.4	Многочастотный режим	Двухконтурный автогенератор

	автогенератора	Анализ укороченных уравнений
2.5	Затягивание частоты автогенератора	Исходные уравнения Укороченные уравнения Анализ стационарного режима Частота генерации Амплитуда колебаний
2.6	Параметрический резонанс	Физика параметрических явлений Параметрический резонанс Синусоидальное изменение ёмкости Стационарный режим Параметрические явления в нелинейном контуре
2.7	Резонанс в нелинейном контуре	Нелинейный колебательный контур Построение графика Особенности резонансной кривой

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основные понятия теории колебаний	2	0	0	2	4
2	Фазовая плоскость и фазовое пространство	6	0	0	5	11
3	Классические колебательные системы	6	0	10	5	21
4	Диссипативные колебательные системы	10	0	12	5	27
5	Методы приближенного рассмотрения колебательных систем	10	0	12	5	27
	Итого:	32		32	44	

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины необходима регулярная и планомерная работа с конспектом лекций и литературой.

Лекции представляет собой систематическое, последовательное изложение учебного материала. На лекциях от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. Качественный конспект должен легко восприниматься зрительно, в его тексте следует соблюдать абзацы, выделять заголовки, пронумеровать формулы, подчеркнуть термины. Рекомендуется записывать не каждое слово лектора, а постараться записать его основную мысль, используя понятные сокращения.

После окончания лекции нужно просматривать конспект для определения материала, вызывающего затруднения для понимания. После этого следует обратиться к рекомендуемой в настоящей программе литературе с целью углубленного изучения проблемного вопроса. В общем случае работа лишь с одним литературным источником часто является недостаточной для полного понимания, поэтому необходимо просматривать несколько источников для выбора того, который наиболее полно и доступно освещает изучаемый материал. В случае если проблемы с пониманием остались, необходимо обратиться к преподавателю на ближайшей лекции с заранее сформулированными вопросами.

Для успешного освоения лекционного курса рекомендуется регулярно повторять изученный материал.

Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; работа над темами

для самостоятельного изучения; участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; подготовка к экзамену.

Кроме литературы из основного списка рекомендуется самостоятельно использовать дополнительную. Независимо от вида учебника, работа с ним должна происходить в течение всего семестра. Эффективнее работать с учебником не после, а перед лекцией.

В процессе самостоятельной работы следует занимать активную позицию и пользоваться не только рекомендованной литературой, но и самостоятельно найденными источниками. При изучении дисциплины рекомендуется использовать возможности сети интернет для получения дополнительной информации по рассматриваемой теме.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к онлайн-занятиям, ответственно подходить к выполнению заданий для самостоятельной работы.

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	<i>В.В. Мезулин, В.И. Медведев, Е.Р. Мустель, В.Н. Карыгин, Основы теории колебаний, М. Наука, 1988, 890 с.</i>
2.	<i>А.А.Андронов, А.А.Витт, С.Э.Хайкин. Теория колебаний, -М.:Физматгаз, 1959, (-2 изд. ) М.: Наука, 1981 (3 изд.).</i>
3.	<i>М.И.Рабинович, Д.И.Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. -М.: Нау-ка, 1984 (1 изд.), 1992 (2 изд.).</i>
4.	<i>Сборник задач по теории колебаний. Под ред. В.И.Королева, Л.В.Постникова, -М.: Наука, 1978.</i>

### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	<i>Н.Н.Боголюбов, Ю.И.Митропольский. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. -М.: Наука, 1974.</i>
6.	<i>М.И.Рабинович. Теория колебаний и волн. Учебное пособие. Горький, Изд-во ГГУ, 1977.</i>
7.	<i>М.И.Рабинович, М.И.Мотова, Т.М.Тарантович. Колебания и волны в нелинейных системах. Учебное пособие. Горький, Изд-во ГГУ, 1978.</i>
8.	<i>В.С.Анищенко. Сложные колебания в простых системах. -М.: Наука, 1990.</i>
9.	<i>Г.Шустер. Детерминированный хаос. -М.: Мир, 1988.</i>
10.	<i>Л.И.Мандельштам. Лекции по теории колебаний, -М.: Наука, 1972.</i>
11.	<i>С.П.Стрелков. Введение в теорию колебаний. -М.: Наука, 1964.</i>
12.	<i>Н.В.Бутенин, Ю.И.Неймарк, Н.А.Фуфаев. Введение в теорию нелинейных колебаний. -М.: Наука, 1987.</i>

### в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
13.	<i>Электронная библиотека Зональной научной библиотеки Воронежского госуниверситета : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xml+rus">https://lib.vsu.ru/zgate?Init+elib.xml,simple_elib.xml+rus</a></i>
14.	<i>Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1457">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1457</a></i>
15.	<i>Электронно-библиотечная система "Издательство "Лань" : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1308">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1308</a></i>
16.	<i>Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1307">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1307</a></i>
17.	<i>Электронно-библиотечная система "Консультант студента" : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1306">https://lib.vsu.ru/?p=4&amp;t=2d&amp;id=1306</a></i>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	<i>Теория колебаний : Метод. указания для лабораторных по курсу "Теория колебания" для студентов физ. фак. / Сост. Л.И.Аверина, В.А.Кулигин .— Воронеж, 2000 .— 49 с. — Тираж 100. 3,1 п.л</i>

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе образовательного портала "Электронный университет ВГУ" по адресу edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Комплект учебного оборудования «УФС» - 5 шт.

Автоматизированный лабораторный стенд для исследования магнитных свойств – 1 шт.

Генератор AFG 72005 – 1 шт.

Цифровой осциллограф GWinstek GDS-71102B – 4 шт.

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-1	Знать: основные модели колебательно-волновых явлений и процессов, их приложение к конкретным физическим (техническим) ситуациям, и развитие общих методов исследования подобных явлений, независимо от их конкретной природы	Разделы 1-5	Лабораторные работы 1-7, экзаменационные вопросы
ПК-1	Уметь: использовать современные методы исследования основных колебательно-волновых явлений на простых моделях и системах (резонанс, устойчивость, параметрическое усиление и генерация, сохранение инвариантов, генерация гармоник и умножение частоты, самомодуляция, нелинейная трансформация волн, рождение хаоса в детерминированных системах и проч.). <i>Разделы 1-5</i>	Разделы 1-5	Лабораторные работы 1-7
ПК-2	Владеть: основными методами теории колебаний (методы фазового пространства - качественные методы на фазовой плоскости, метод точечных отображений; асимптотические методы, связанные с усреднением; методы разрывных колебаний и волн; методы, связанные с использованием ЭВМ).	Разделы 1-5	Лабораторные работы 1-7
Промежуточная аттестация			КИМ

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>В течении семестра обучающимся предлагается выполнить набор лабораторных работ. Оценка «отлично» выставляется на экзамене обучающемуся при условии выполнения им 95 и более % заданий лабораторных работ, при развернутом уверенном ответе на 2 из 2х основных вопросов экзаменационного билета, ответе «сходу» на 4 из 5 дополнительных вопросов</i>	Продвинутый уровень	Отлично
<i>В течении семестра обучающимся предлагается выполнить набор лабораторных работ. Оценка «хорошо» выставляется на экзамене обучающемуся при условии выполнения от 80 до 95 % заданий лабораторных работ, при развернутом уверенном ответе на 2 из 2х основных вопросов экзаменационного билета, ответе «сходу» на 3 из 5 дополнительных вопросов</i>	Уверенный уровень	Хорошо
<i>В течении семестра обучающимся предлагается выполнить набор лабораторных работ. Оценка «удовлетворительно» выставляется на экзамене обучающемуся при условии выполнения от 60 до 80 % заданий лабораторных работ, при развернутом уверенном ответе на 1 из 2х основных вопросов экзаменационного билета, ответе «сходу» на 2 из 5 дополнительных вопросов</i>	Базовый уровень	Удовлетворительно
<i>В течении семестра обучающимся предлагается выполнить набор лабораторных работ. Оценка «неудовлетворительно» выставляется на экзамене обучающемуся при условии выполнения им менее 60% заданий лабораторных работ, при отсутствии ответа хотя бы на 1 из 2х основных вопросов экзаменационного билета, отсутствии ответа «сходу» хотя бы на 2 из 5 дополнительных вопросов</i>	Неудовлетворительный уровень	Неудовлетворительно

## 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Условия возникновения состояния равновесия.
2. Нахождение скорости на сепаратрисе колебаний маятника. Солитон.
3. Консервативные колебательные системы.
4. Колебательный контур с малым нелинейным затуханием.
5. Уравнение фазовой плоскости.
6. Особые точки в нелинейных системах. Фазовый портрет маятника с затуханием.
7. Предмет теории колебаний.
8. Квадратичное трение.
9. Качественное рассмотрение колебаний маятника.
10. Линейный контур с постоянным затуханием.
11. Метод последовательных приближений.
12. Вынужденные колебания в нелинейной консервативной системе при гармоническом воздействии.
13. Изохронные и неизохронные колебания.
14. Вынужденные колебания в линейных системах.
15. Особая точка типа «седло».
16. Метод комплексных амплитуд.

17. Колебания в контуре с нелинейной емкостью р-п перехода.
18. Устойчивость стационарных движений.
19. Метод Льенара.
20. Диссипативные колебательные системы.
21. Сухое трение.
22. Метод гармонического баланса.
23. Линейное трение. Особая точка типа «фокус», особая точка типа «узел», особая точка типа «седло».
24. Фазовая плоскость.
25. Виды трения.
26. Последовательный колебательный контур.
27. Колебания в контуре с нелинейной индуктивностью. Аппроксимация по Дрейфусу, метод последовательных приближений.
28. Особые точки в нелинейных системах. Фазовый портрет маятника с затуханием.
29. Колебания в контуре с нелинейной емкостью с сегнетоэлектрической солью.
30. Нелинейный контур без затухания.
31. Метод изоклин.
32. Метод медленно меняющихся амплитуд.
33. Метод поэтапного рассмотрения.
34. Особая точка типа «центр».
35. Параметрическое воздействие на колебательные системы.
36. Рассмотрение автоколебательных систем.
37. Колебания в системах с двумя степенями свободы.
38. Колебательные процессы в распределенных системах.

### 19.3.2 Перечень лабораторных работ

1. Метод Ван-дер-Поля
  - 1.1. Квазилинейные системы
  - 1.2. Уравнение автономной квазилинейной системы
  - 1.3. Укороченные уравнения
  - 1.4. Укороченные уравнения для неавтономных систем
2. LC-автогенератор синусоидальных колебаний
  - 2.1. Условия самовозбуждения автогенератора
  - 2.2. Укороченные уравнения
  - 2.3. Стационарный режим работы автогенератора
  - 2.4. Установление колебаний в автогенераторе
  - 2.5. Устойчивость стационарной амплитуды
  - 2.6. Влияние запаздывания на колебания
3. Синхронный и асинхронный режимы работы автогенератора
  - 3.1. Укороченные уравнения для синхронного режима
  - 3.2. Анализ укороченных уравнений
  - 3.3. Асинхронный режим
4. Многочастотный режим автогенератора
  - 4.1. Двухконтурный автогенератор
  - 4.2. Анализ укороченных уравнений
5. Затягивание частоты автогенератора
  - 5.1. Исходные уравнения
  - 5.2. Укороченные уравнения
  - 5.3. Анализ стационарного режима
  - 5.4. Частота генерации
  - 5.5. Амплитуда колебаний
6. Параметрический резонанс
  - 6.1. Физика параметрических явлений



- 6.2. Параметрический резонанс
- 6.3. Синусоидальное изменение ёмкости
- 6.4. Стационарный режим
- 6.5. Параметрические явления в нелинейном контуре
- 7. Резонанс в нелинейном контуре
  - 7.1. Нелинейный колебательный контур
  - 7.2. Построение графика
  - 7.3. Особенности резонансной кривой

#### **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: *устного опроса* Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.