

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением президиума Ученого совета ННГУ
протокол от
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

Основы теории колебаний
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
Специалитет
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
11.05.02 - Специальные радиотехнические системы
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Радиотехнические системы и комплексы специального назначения
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2022 год

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы теории колебаний» относится к обязательным дисциплинам вариативной части (блок обязательные дисциплины, Б1.В.11 основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина изучается в 5-м семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

Выработка нелинейного мышления – совокупности концепций, представлений, моделей, методов, наглядных образов, которые составляют содержание единого подхода к исследованию нелинейных колебаний в системах различной природы. Ознакомление с методами теории нелинейных колебаний и возможностями их использования для анализа информационных потоков, для цифровой обработки сигналов, кодирования и хранения информации.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) *ОПК-1*

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-1</i> Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии <i>этап освоения базовый</i>	<u>З1 (ОПК-1)</u> - Знать основные разделы математических и естественнонаучных дисциплин. <u>У1 (ОПК-1)</u> – Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин.

3. Структура и содержание дисциплины «Основы теории колебаний»

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 16 часов практические занятия, 16 часов лабораторные занятия, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 69 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 45 часов отведено на экзамен.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе														
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы												Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				из них														
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего			Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная
Базовые идеи и подходы теории колебаний	12			4			2						6			11		
Основные методы теории колебаний	48			22			8						30			32		
Исследование базовых моделей теории колебаний.	48			8			7			17			32			26		
В т.ч. текущий контроль	2																	
Промежуточная аттестация: экзамен																		

Содержание разделов дисциплины

Раздел I. Базовые идеи и подходы теории колебаний

I.1. Историческое введение, формулировка предмета и содержания теории колебаний. Понятие динамической системы и фазового пространства, классификация динамических систем.

I.2. Динамические системы на прямой. Грубые состояния равновесия. Основные бифуркации динамических систем на прямой.

Раздел II. Основные методы теории колебаний

II.1. Устойчивость линеаризованных сосредоточенных систем

Классификация состояний равновесия в системах второго и третьего порядка; исследование их устойчивости (критерий Рауса-Гурвица). Динамические системы первого порядка с дискретным временем. Отображение Пуанкаре. Классификация неподвижных точек одномерных и двумерных точечных отображений.

II.2. Колебания в нелинейных системах с одной степенью свободы

Линейный и нелинейный осцилляторы. Фазовый портрет. Резонанс в нелинейном осцилляторе. Основы качественной теории и теории бифуркаций динамических систем на плоскости. Грубые предельные циклы, основные характеристики. Основные (коразмерности I) бифуркации динамических систем на плоскости: двукратное равновесие, нейтральное равновесие (бифуркация Андронова-Хопфа), двукратный предельный цикл, петля сепаратрисы седла и седло-узла, сепаратрисная связка.

II.3. Автоколебательные системы

Система с одной степенью свободы. Физические примеры. Метод разрывных колебаний. Метод Ван-дер-Поля (автономный и неавтономный случаи). Связанные автогенераторы. Явление захватывания, определение полосы синхронизации. Динамика многомерных динамических систем - особые траектории (состояния равновесия, предельные циклы, инвариантные торы, хаотические аттракторы, бифуркации особых траекторий).

Раздел III. Исследование базовых моделей теории колебаний

Исследование динамики лампового генератора. Динамика сверхпроводящего Джозефсоновского контакта и маятника в вязкой среде. Конкуренция колебаний в многомодовых автогенераторах.

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий практического и лабораторного типа. Итоговый контроль осуществляется на экзамене

4. Образовательные технологии

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

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

- лекции с проблемным изложением учебного материала.

используемые на занятиях практического типа:

- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;

- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

6. Темы практических занятий, по которым дается домашнее задание

7. Знакомство с аппаратом фазового пространства. Понятие грубости и бифуркации динамических системах (на примере систем, определённых на фазовой прямой или окружности). Исследование динамики систем первого порядка.

8. Устойчивость состояний линеаризованных систем. Исследование грубых состояний равновесия нелинейных динамических систем, определённых на фазовой плоскости и в трехмерном фазовом пространстве. Анализ устойчивости состояний равновесия. Линеаризация и составление характеристических уравнений. Метод Рауса-Гурвица.

9. Динамика консервативных систем второго порядка. Построение фазового портрета нелинейного осциллятора.

10. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. Анализ разрывных колебаний в системах одной степенью свободы.

11. Метод усреднения. Анализ динамики автономных систем с одной степенью свободы.

12. Исследование динамики дискретных динамических систем первого и второго порядков. Анализ неподвижных точек.

Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

13. Темы лабораторных занятий

1) Изучение фазовой плоскости автогенератора. Анализ автоколебаний и механизмов их возбуждения.

2) Вынужденная синхронизация. Анализ динамики генератора в мягком и жестком режиме возбуждения при внешнем гармоническом воздействии. Синхронизация автоколебаний генератора внешним сигналом.

3) Релаксационные колебания. Анализ динамики электронных устройств: триггера, мультивибратора, кипп-реле.

Вопросы допуска к выполнению лабораторных работ, задания лабораторных работ содержатся в учебно-методических пособиях для выполнения соответствующих

лабораторных работ [4,5].

14. Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Дать определение динамической системы. Как могут быть классифицированы динамические системы. Как определить размерность динамической системы.
2. Что такое фазовое пространство, фазовая траектория.
3. Чем определяется динамика систем первого порядка. Что такое бифуркационная диаграмма.
4. Чем определяется структура фазового пространства двумерных динамических систем.
5. Особые траектории. Грубость динамических систем. Условие грубости динамических систем. Основные бифуркации двумерных динамических систем.
6. Устойчивость динамических систем.
7. Устойчивость состояний равновесия.
8. Отображение Пуанкаре. Предельный цикл. Устойчивость предельного цикла.
9. Автоколебания. Автоколебательные системы.
10. Механизмы возбуждения автоколебаний.
11. Критерии анализа фазового пространства динамических систем.
12. Методы анализа динамики нелинейных систем: метод разрывных колебаний, метод Ван дер Поля.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, навыков), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

ОПК-2 способностью использовать в профессиональной деятельности основные законы естественно научных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественно научные знания, современные образовательные и информационные технологии.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные составляющие аппарата теории нелинейных колебаний (понятия, определения, методы, подходы).	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять	Отсутствует способность решения	Наличие грубых ошибок	Способность решения основных	Способность решения всех	Способность решения	Способность решения	Способность решения

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
аппарат теории нелинейных колебаний для анализа физических явлений и процессов	стандартных задач	при решении стандартных задач	стандартных задач с существенными ошибками	стандартных задач с незначительными погрешностями	всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	стандартных и некоторых нестандартных задач	стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть аппаратом теории нелинейных колебаний при формализации и решения задач	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение задач.

Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы

Оценка	Уровень подготовки
	билета при наличии неточностей. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы. Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих сформированность компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- устные и письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются: устный опрос, решение практических задач.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции

Вопросы к экзамену для оценки сформированности компетенций

1. Динамические системы с дискретным и непрерывным временем. Фазовое пространство. Типы траекторий.
2. Динамика одномерных динамических систем с непрерывным временем.
3. Динамические системы на окружности.
4. Бифуркации одномерных динамических систем с непрерывным временем: двукратного состояния равновесия, трехкратного состояния равновесия, транскритическая бифуркация.
5. Классификация состояний равновесия динамических систем на плоскости и пространстве. Метод линеаризации определения устойчивости состояний равновесия
6. Линейный осциллятор. Основные свойства.
7. Нелинейный осциллятор. Основные свойства.
8. Устойчивость сосредоточенных систем. Устойчивость по Ляпунову, Орбитальная устойчивость.
9. Устойчивость состояний равновесия динамических систем. Критерий Рауса-Гурвица.

10. Динамические системы с дискретным временем. Особые траектории динамических систем с дискретным временем. Диаграмма Кёнигса-Ламерея.
11. Динамика одномерные линейные отображения.
12. Отображение Пуанкаре. Неподвижные точки отображения Пуанкаре. Устойчивость неподвижных точек.
13. Бифуркации неподвижных точек одномерного дискретного отображения. Случай равенства мультипликатора +1
14. Бифуркации неподвижных точек одномерного дискретного отображения. Случай равенства мультипликатора -1
15. Предельные циклы динамических систем на плоскости. Основные характеристики.
16. Особые траектории динамических систем на плоскости, критерии их грубости.
17. Автоколебания. Мягкий и жесткий режимы возбуждения автоколебаний
18. Автоколебания. Автоколебательная система. Мягкий и жесткий режимы.
19. Грубость динамических систем.
20. Седло-узловая бифуркация состояний равновесия на плоскости.
21. Бифуркация двукратного предельного цикла
22. Бифуркация Андронова-Хопфа в случае положительной первой ляпуновской величины.
23. Бифуркация Андронова-Хопфа в случае отрицательной первой ляпуновской величины.
24. Бифуркация петли сепаратрис седла (случай отрицательной седловой величины).
25. Бифуркация петли сепаратрис седла (случай положительной седловой величины).
26. Бифуркация петли сепаратрис седло-узла
27. Второй метод Ляпунова. Критерий Бендиксона-Дюлака
28. Метод Ван-дер-Поля для автономных систем
29. Метод Ван-дер-Поля для неавтономных систем
30. Метод разрывных колебаний
31. Динамика автоколебательной системы под действием периодической внешней силы. Явление вынужденной синхронизации
32. АЧХ лампового генератора при внешнем гармоническом воздействии
33. Динамика автоколебательной системы под действием периодической внешней силы. Поведения генератора при выходе из режима синхронизации в случае сильного и слабого сигнала.
34. Динамика джозефсоновского контакта.
35. Динамика системы фазовой автоподстройки частоты (ФАП) с фильтром первого порядка. Динамические характеристики системы ФАП.
36. Структура плоскости параметров (γ, λ) маятниковое уравнения
37. ВАХ джозефсоновского контакта.

Типовые задачи для оценивания сформированности умений и навыков по компетенциям ОПК-2

1. Построить бифуркационную диаграмму (μ, x^*) и грубые фазовые портреты динамической системы

$$\dot{x} = x^2 - \mu^2 + 1.$$

2. Исследовать состояния равновесия динамической системы

$$\begin{cases} \dot{x} = x(y^2 - 1) \\ \dot{y} = x + y^2 - 4 \end{cases}.$$

3. Построить фазовые портреты динамической системы

$$\ddot{x} + x(x - 4)(1 - x) = 0.$$

4. Для динамической системы

$$\ddot{x} + x = \mu \dot{x}(\alpha - \dot{x}^2 + x^4),$$

в случае $0 < \mu < 1$ найти зависимость амплитуды колебаний от параметра α , отметить бифуркационные значения параметра и указать тип бифуркации. Построить грубые фазовые портреты.

5. Построить фазовый портрет динамической системы

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

$$\dot{y} = x - y,$$

где $0 < \mu < 1$. Перечислить особые траектории и указать их тип.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

а) основная литература:

1 Некоркин В.И. Лекции по основам теории колебаний: Учебное пособие. -Нижний Новгород: издательство Нижегородского госуниверситета, 2012. -311с. (155 экз.)

2 А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. Теория колебаний, -М.: Физматгиз, 1959, М.: Наука, 1981. (419 экз.)

3 Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний. Изд-во «Лань», 2013, 320с.
https://e.lanbook.com/book/4640?category_pk=918#authors

4 Фазовая плоскость лампового генератора: Составитель Петров В.В. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2011.

http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_petrov_lamp.doc

5 Матросов В.В. Вынужденная синхронизация. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2013.

http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_matrosov_forced_synch.pdf

6 Исследование динамики систем с разрывными колебаниями: Составитель Мотова М.И. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2010.

http://www.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_motova_break.doc

б) дополнительная литература:

1. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. -М.: Наука, 1984 (1 изд.), 1992 (2 изд.), 2002 (3 изд.). (6 экз.)

2. В.Д. Горяченко Элементы теории колебаний. Учебное пособие. Красноярск. Изд.-во Краснояр. Ун-та. 1995. (393 экз.)

3. Сборник задач по теории колебаний. Под ред. В.И. Королева, Л.В. Постникова, - М.: Наука, 1978. (172 экз.)

4. А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин Нелинейные колебания: учебное пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2002. (9 экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

ЭБС Лань <https://e.lanbook.com/>

сайт кафедры <http://www.rf.unn.ru/rus/ktk>

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

8.1 Лекционный зал, аудитории для практических занятий в группах, лаборатории физического практикума.

8.2 Лабораторные установки:

- Лабораторные установки изучения фазовой плоскости лампового генератора и механизмов их возбуждения автоколебаний.
- Лабораторные установки изучения явления вынужденная синхронизация.
- Лабораторные установки изучения релаксационных колебаний.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»

Автор _____ Матросов В.В.

Рецензент (ы) _____ Осипов Г.В.

Заведующий кафедрой _____ Матросов В.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета