

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 / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан / директор _____

Матросов В.В.

« 29 » _____ июня 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы теории колебаний

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Специалист

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2018

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы теории колебаний» относится к дисциплинам вариативной части основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по специальности 10.05.02. «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» 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 электрических цепей и радиотехнических сигналов, для цифровой обработки сигналов, кодирования и хранения информации.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) ОПК-2, ОПК-6

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ПК-2</i> способность формулировать задачи, планировать и проводить исследования, в том числе эксперименты и математическое моделирование, объектов, явлений и процессов телекоммуникационных систем, включая обработку и оценку достоверности их результатов <i>этап освоения базовый</i>	З2 (ПК-2). Знать математические основы качественной теории нелинейных колебаний (понятия, определения, теоремы, бифуркации). У2 (ПК-2). Уметь применять аппарат качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций для анализа физических явлений и процессов, возникающих в системах связи. В2 (ПК-2). Владеть аппаратом качественной теории нелинейных колебаний, при построении и анализе динамических моделей нелинейных процессов, возникающих в системах связи.
<i>ОПК-6</i> способность применять методы научных исследований в профессиональной деятельности <i>этап освоения начальный</i>	З3 (ОПК-6). Знать принципы исследования нелинейных процессов и явлений, базирующиеся на методах качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций. У3 (ОПК-6). Уметь применять методы качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций к исследованию нелинейных процессов и явлений динамических систем. В3 (ОПК-6). Владеть методами теории не-

	линейных колебаний и теории бифуркаций при анализе нелинейных процессов и явлений динамических систем.
--	--

3. Структура и содержание дисциплины «Основы теории колебаний»

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 65 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия практического типа, 16 часов занятия лабораторного типа, в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 43 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	В том числе																				
	Всего (часы)			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них												Самостоятельная работа обучающегося, часы					
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего								
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное			
Базовые идеи и подходы теории колебаний	12			4			2									6			6		
Основные методы теории колебаний	48			20			7									27			21		
Исследование базовых моделей теории колебаний.	48			8			7			16						31			17		
В т.ч.текущий контроль	2						1			1						2					
Промежуточная аттестация – зачёт																					

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках практических и лабораторных занятий. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

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 (кратности 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.

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

5.1. Темы практических занятий, по которым дается домашнее задание

1) 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.
- 2) Устойчивость состояний линеаризованных систем. Исследование грубых состояний равновесия нелинейных динамических систем, определенных на фазовой плоскости и в трехмерном фазовом пространстве. Анализ устойчивости состояний равновесия. Линеаризация и составление характеристических уравнений. Метод Рауса-Гурвица.
 - 3) Динамика консервативных систем второго порядка. Построение фазового портрета нелинейного осциллятора.
 - 4) Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. Анализ разрывных колебаний в системах одной степенью свободы.
 - 5) Метод усреднения. Анализ динамики автономных систем с одной степенью свободы.
 - 6) 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.

5.2. 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 соответствующих лабораторных работ [4,5].

5.3. 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

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

ПК-2: способность формулировать задачи, планировать и проводить исследования, в том числе эксперименты и математическое моделирование, объектов, явлений и процессов телекоммуникационных систем, включая обработку и оценку достоверности их результатов.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать математические основы качественной теории нелинейных колебаний (понятия, определения, теоремы, бифуркации).	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 аппарат качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций для анализа	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач

физических явлений и процессов, возникающих в системах связи.							
Навыки Владеть аппаратом качественной теории нелинейных колебаний, при построении и анализе динамических моделей нелинейных процессов, возникающих в системах связи	Полное отсутствие навыка	Отсутствии навыка	Владение навыком в минимальном объёме	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%

ОПК-6 способность применять методы научных исследований в профессиональной деятельности.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
Знания	Отсутст-	Наличие	Знание	Знание	Знание	Знание	Знание

Знать принципы исследования нелинейных процессов и явлений, базирующиеся на методах качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций.	вие знаний материала	грубых ошибок в основном материале	основного материала с рядом негрубых ошибок	основного материала с рядом заметных погрешностей	основного материала с незначительными погрешностями	основного материала без ошибок и погрешностей	основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять методы качественной теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций к исследованию нелинейных процессов и явлений динамических систем.	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть методами теории нелинейных колебаний	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком

и теории бифуркаций при анализе нелинейных процессов и явлений динамических систем							
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 зачета, 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.

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

Критерии оценок

Зачтено	Обучающийся после подготовки с использованием конспекта лекций может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, знает основные понятия и определения из материала дисциплины, может решить задачу из практических контрольных занятий.
Не зачтено	Студент после подготовки с использованием конспекта лекций не может последовательно изложить ответ на контрольный вопрос, либо не знает основные понятия и определения из материала дисциплины, не может решить задачу из практических контрольных занятий.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, 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 зачету для оценки сформированности компетенций ПК-2, ОПК-6

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 ПК-2, ОПК-6

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

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

4. Для динамической системы

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

в случае $0 < \mu \ll 1$ 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

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

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», утверждённое 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

а) основная литература:

1. Некоркин В.И. Лекции по основам теории колебаний: Учебное пособие. -Нижний Новгород: издательство Нижегородского госуниверситета, 2012. -311с.
2. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. Теория колебаний, -М.: Наука, 1981. - 568 с.
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.).
2. В.Д. Горяченко Элементы теории колебаний. Учебное пособие. Красноярск. Изд-во Краснояр. ун-та. 1995.
3. Сборник задач по теории колебаний. Под ред. В.И. Королева, Л.В. Постникова, - М.: Наука, 1978.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

8.1. Лекционный зал, аудитории для практических занятий в группах.

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 специальности 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем.

Автор

Матросов В.В.

Рецензент (ы)

Осипов Г.В.

Заведующий кафедрой

Матросов В.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» июня 2020 года, протокол № 03/20.