

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

**Теория колебаний**

по направлению подготовки / специальности

**03.03.03 Радиофизика**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:  
**Киберфизические системы, прикладная электроника и квантовые технологии**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Радиофизик-кибернетик, преподаватель. Разработчик киберфизических и квантовых систем**

Год приема  
**2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.А. Доценко

Председатель УМК  
А.П. Коханенко

Томск – 2024

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 Способен проанализировать поставленную задачу в области радиофизики и электроники, осуществлять поиск, обобщение и использование научно-технической информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональной задачи.

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения задач в области радиофизики и электроники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 2.1 Знает соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных и теоретических исследований

РООПК 2.2 Умеет обрабатывать для получения обоснованных выводов и представлять полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований

РОПК 1.2 Умеет эффективно осуществлять поиск теоретических и экспериментальных данных в исследуемой и смежных областях деятельности, необходимых для решения поставленной задачи

РОПК 1.3 Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов

РОПК 3.2 Умеет проводить радиофизические измерения с использованием современных средств измерения и контроля

## **2. Задачи освоения дисциплины**

Изучение основных методов исследования динамических систем;

Изучение процессов, лежащих в основе колебательных движений динамических систем различной природы;

Изучение особенностей свободных и вынужденных движений линейных и нелинейных динамических систем.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Пятый семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по дисциплинам: «Математический анализ», «Физика», «Радиоэлектроника», «Дифференциальные уравнения».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-лабораторные: 68 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

### **Тема 1. Введение.**

Предмет теории колебаний. Краткий исторический очерк. Понятие динамической системы и фазового пространства. Возможные виды движений в нелинейных детерминированных консервативных и диссипативных системах. Математические модели нелинейных колебательных систем различной природы. Задачи теории колебаний. Обзор методов анализа линейных и нелинейных колебательных систем: аналитические, качественные и численные методы.

### **Тема 2. Качественное исследование динамических систем методом фазовой плоскости.**

Фазовое пространство, точка на фазовой плоскости, фазовая траектория. Особые точки, типы особых точек. Понятие фазового портрета, сепаратриса, бифуркация. Понятие предельных циклов и предельных торов. Орбитно -устойчивые, орбитно - неустойчивые, орбитно -полуустойчивые предельные циклы. Понятие аттрактора, репеллера, бассейна притяжения (отталкивания). Понятие странного аттрактора. Грубые системы. Индексы Пуанкаре. Точечные отображения и функции последования.

### **Тема 3. Устойчивость стационарных состояний линейных и нелинейных динамических систем.**

Устойчивость стационарных состояний динамических систем. Понятия локальной и глобальной устойчивости. Понятие устойчивости покоя по Ляпунову и Пуассону. Условие локальной устойчивости. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Устойчивость периодических колебаний нелинейных систем с  $n$  степенями свободы. Применение вариационного принципа к исследованию локальной устойчивости, чередование устойчивых и неустойчивых стационарных состояний.

### **Тема 4. Колебания в нелинейных пассивных системах с одной степенью свободы.**

Метод медленно меняющихся амплитуд (ММА). Свободные колебания осциллятора с нелинейным трением и нелинейной жёсткостью. Вынужденные колебания осциллятора с нелинейной жёсткостью при силовом воздействии, построение резонансной кривой, областей устойчивости. Движения осциллятора с нелинейной жёсткостью при параметрическом возбуждении. Дифференциальное уравнение, уравнение и зоны Матъё, уравнение Хилла, теорема Флоке-Ляпунова, ляпуновские показатели. Зоны Матъё. построение резонансных кривых для идеального и диссипативного контуров. Сравнительный анализ свойств линейного и нелинейного контуров при силовом и параметрическом возбуждении

### **Тема 5. Автономные активные динамические системы.**

Автоколебательные системы. Схема автогенератора на полевом транзисторе (ПТ). Аппроксимация статических ВАХ транзистора и динамической характеристики резонансного усилителя для режимов мягкого и жёсткого возбуждения. Математическая модель автогенератора, общее уравнение, уравнение Ван-дер-Поля (мягкий режим) и уравнение системы с жёстким режимом возбуждения. Анализ колебаний автогенератора на ПТ методом фазовой плоскости. Основная особенность – нет ограничений на параметр

нелинейности. Уравнения движения на фазовой плоскости. Типы особых точек системы, их зависимость от параметра нелинейности, отсутствие особых точек типа седло, отсутствие сепаратрис. Понятие декрементных и инкрементных областей на фазовой плоскости. Фазовые портреты для мягкого режима при вариации параметра нелинейности системы. Фазовые портреты для жёсткого режима при вариации параметра нелинейности системы. Аналитическое исследование автоколебательных систем. Применение метода ММА к исследованию движений автогенераторов с мягким и жёстким режимами возбуждения.

#### **Тема 6. Неавтономные активные динамические системы.**

Варианты силового воздействия на автоколебательные системы – воздействие на возбуждённый автогенератор. Воздействие на недовозбуждённый генератор (резонанс  $n$ -того рода). Гармоническая синхронизация: постановка задачи, уравнение движения. Применение метода ММА, кривые синхронизации, области устойчивости, полосы синхронизации. Явление частичного увлечения частоты и синхронизация захватыванием. Синхронизация гашением. Резонанс второго рода. Внешнее проявление явления. Понятие автопараметрического воздействия. Постановка задачи – определение области возбуждения автоколебаний. Уравнение движения. Разделение динамической переменной на вынужденную и стимулированную собственную составляющие (метод Р.В.Хохлова). Определение вынужденной компоненты и запись уравнения для собственных колебаний. Применение метода ММА, область возбуждения. Параметричность явления резонанса  $n$ -того рода.

#### **Тема 7. Многочастотные динамические системы.**

Два класса многочастотных систем: 1. Дискретные системы с  $n$  степенями свободы (системы с сосредоточенными параметрами). Математическая модель – система  $n$  нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. 2. Системы, в которых невозможно выделить отдельные осцилляторы – системы с распределёнными параметрами, – системы с запаздывающей обратной связью. Автоколебательная система с дополнительным контуром при инерциальной связи контуров (система с двумя степенями вободы). Условия режима одночастотный колебаний, режима гашения и режима затягивания. Алгоритм численного исследования стационарных колебаний системы (решение нелинейных дифференциальных уравнений). Динамические системы с запаздывающей обратной связью. Усилители с запаздывающей обратной связью. Структурная схема, АЧХ и ФЧХ усилителя с ограниченной полосой пропускания. Влияние задержки на форму АЧХ резонансного усилителя, избирательность системы. Автогенераторы с запаздывающей обратной связью. Механизм возбуждения колебаний в автогенераторах с запаздыванием, влияние частотных характеристик усилителя на спектр возникающего движения, возможные механизмы установления стационарных колебаний и виды движений (одночастотный, автомодуляция, хаотическое движение). Зависимость амплитуды и частоты одночастотных автоколебаний от времени задержки. Стабильность частоты. Режим запоминания.

#### **Тема 8. Хаотические колебания в динамических системах.**

Экспоненциальная неустойчивость по Ляпунову. Эволюция фазового объема для устойчивых и неустойчивых по Ляпунову траекторий. Типы странных аттракторов. Бифуркации странных аттракторов. Сценарии возникновения хаотических движений: Ландау (1944), Ландау-Хопфа (1948), Рюэля-Такенса (1971), Фейгенбаума (1978), Помо-Манневиля (1979).

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных тестов по лекционному материалу, текущего выполнения лабораторных работ и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=2558>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Тестовые задания по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=2558>

г) Электронный учебный курс по лабораторным работам по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=3481>

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Баев, В. К. Теория колебаний : учебное пособие для вузов / В. К. Баев. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 348 с.
- Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний: учебник для вузов / 4-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 440 с.
- Баев, В. К. Теория колебаний : учебное пособие для вузов / В. К. Баев. — М. : Издательство Юрайт, 2024. — 348 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/541278>
- Формирование колебаний и сигналов : учебник для вузов / А. Р. Сафин [и др.] ; под редакцией В. Н. Кулешова, Н. Н. Удалова.— Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 391 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/564851>

б) дополнительная литература:

- Алдошин Г.Т. Аналитическая динамика и теория колебаний : учебное пособие.: Лань, 2018. – 253 с.
- Морозов А.Д. Математические методы теории колебаний / Издательство: Институт компьютерных исследований, 2017 г. – 144 с.
- Вульфсон И. И. Краткий курс теории механических колебаний / И. И. Вульфсон— Библиотека ВНТР. — М.: ВНТР, 2017. — 241 с.
- Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике. Томск.: ООО«Издательство научно-технической литературы», 2009, – 274 с.
- Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2011. – 497 с.

- Скубов Д. Ю. Основы теории нелинейных колебаний: учебное пособие / Д. Ю.Скубов. – СПб [и др.] : Лань, 2013.– 311 с.
- Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний / Г. Т. Алдошин. – Изд. 2-е, стер. – СПб [и др.]: Лань, 2013. - 311 с.
- Ланда П. С. Нелинейные колебания и волны / П. С. Ланда. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: ЛИБРОКОМ, 2010. – 551 с.
- Юрченко Д. В. Теория случайных колебаний и ее приложения: учебное пособие / Д.В. Юрченко. - СПб [и др.]: Лань, 2010. - 268 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система.  
<http://www.consultant.ru>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010); программное обеспечение National Instruments Multisim 12;
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Лаборатории, оборудованные аппаратным и программным обеспечением NI ELVIS II, ELVIS III.

### **15. Информация о разработчиках**

Дорофеев Игорь Олегович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектроники, РФФ ТГУ.