

Федеральное агентство по образованию
САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине **Основы теории колебаний**
(наименование дисциплины)

для специальности **013800 – радиофизика и электроника**,
(код и наименование специальности, направления)

реализуемой на **физическом** факультете

Саратов, 2006 год

Рабочая программа составлена в соответствии
с Государственным стандартом
высшего профессионального образования
по специальности 013800 – РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
(номер государственной регистрации 170 ен/сп от 17.03.2000 г.)

<p style="text-align: center;">ОДОБРЕНО:</p> <p>Председатель учебно-методической комиссии физического факультета, профессор _____ В.Л.Дербов _____ 2006 г.</p>	<p style="text-align: center;">УТВЕРЖДАЮ:</p> <p>Проректор по учебной работе, профессор _____ Е.М. Первушов _____ 2006 г.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

СОГЛАСОВАНО:

Декан физического факультета,
профессор _____

Д.А. Зимняков

Заведующий кафедрой радиофизики
и нелинейной динамики физического факультета,
профессор _____

В.С. Анищенко

Вил учебной ра-	Бюджет времени по формам обучения, час				
	очная		очно-за- очная	заочная	
	полная програм- ма	ускорен- ные сроки		полная программа	ускорен- ные сроки
Аудиторные занятия,	82	--	--	--	--
в том числе: - лекции - лабораторные (практи- ческие) – семинарские	72 - -				
Самостоятельная работа студентов	10				
Зачеты, +/-	--				
Экзамены, +/-	+				
Контрольные работы, ко-	2				
Курсовая работа, + /-	--				

Авторы:

заведующий кафедрой радиофизики
и нелинейной динамики, профессор
профессор кафедры радиофизики
и нелинейной динамики
профессор кафедры радиофизики
и нелинейной динамики

В.С. Анищенко

В.В. Астахов

Т.Е. Вадивасова

Раздел I.

Организационно – методическое содержание

Курс «Основы теории колебаний» читается студентам дневного отделения кафедры радиофизики и нелинейной динамики, кафедры радиотехники и электродинамики, обучающимся по специальности 013800 - радиофизика и электроника. Курс читается в течение 7-го учебного семестра и включает 72 часа лекционных, и самостоятельную работу студентов (10 часов). Целью курса является обучение студентов методам анализа нелинейных систем различной природы, описание простейших базовых моделей теории нелинейных колебаний и основных нелинейных явлений, знакомство с основными идеями и понятиями нелинейной динамики, на которых базируется ряд спецкурсов данной специальности.

Раздел 2. Тематический план учебной дисциплины

1	2	Бюджет учебного времени					8
		3	в том числе				
			4	5	6	7	
		лекции	лабораторные и практические	Семинарские занятия	самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8
Очная полная программа							
	<u>Основы теории колебаний</u>	82	72	--	--	10	
	Введение	1	1				
1.	Линейный осциллятор	8	7			1	
	1.1.		2				
	1.2.		3				
	1.3.		2				
2.	Нелинейность и ее фундаментальные проявления	10	9			1	контрольная

	2.1.		3				
	2.2.		3				
	2.3.		3				
3.	Нелинейный осциллятор	6	5			1	
	3.1.		2				
	3.2.		3				
4.	Вынужденные колебания нелинейного осциллятора и нелинейный резонанс	7	8			1	
	4.1.		2				
	4.2.		3				
	4.3.		3				
5.	Параметрические колебания	9	8			1	
	5.1.		1				
	5.2.		3				
	5.3.		2				
	5.4.		2				
6.	Автоколебания	11	10			2	контрольная
	6.1.		1				
	6.2.		3				
	6.3.		2				
	6.4.		2				
	6.5.		2				
7.	Синхронизация	11	10			1	
	7.1.		2				
	7.2.		3				
	7.3.		3				
	7.4.		2				
8.	Хаос	11	10			1	
	8.1.		2				
	8.2.		3				
	8.3.		3				
	8.4.		2				
9.	Колебания в распределенных системах	5	4			1	
	9.1.		2				
	9.2.		2				
Итого:		82	72			10	экзамен

Раздел 3. Содержание учебной дисциплины

Введение. Предмет теории колебаний. Колебательные системы различной природы и проблема описания их динамики. Временной и спектральный подход в теории

колебаний. Идеи Л.И.Мандельштама. Идея «колебательной общности» и «колебательной взаимопомощи». Теория колебаний как «интернациональный язык». Теория колебаний как физическая дисциплина. Теория колебаний и другие синтетические дисциплины – нелинейная динамика, теория динамического хаоса, синергетика, теория диссипативных структур.

Тема 1. Линейный осциллятор

- 1.1 Примеры систем, описываемых уравнением линейного осциллятора. Маятник, шарик на пружине, шарик в яме, колебательный контур, резонатор Гельмгольца, СВЧ резонатор.
- 1.2 Фазовая плоскость. Понятие состояния. Фазовая плоскость. Состояние равновесия типа центр. Включение диссипации. Состояния равновесия типа фокус и узел.
- 1.3 Идеи «колебательной общности и взаимопомощи». Общее решение уравнения линейного осциллятора и принцип суперпозиции. Иллюстрация идеи «колебательной общности и взаимопомощи» на примере линейного осциллятора.

Тема 2. Нелинейность и ее фундаментальные проявления.

- 2.1. Нелинейные системы и основные эффекты. Нелинейные элементы и нелинейные системы. Слабая и сильная нелинейность: типы нелинейных характеристик (квадратичная, кубичная и др). Первоначальное представление об основных эффектах, к которым приводит нелинейность: неизохронность, ангармоничность, мультистабильность и гистерезис, периодические и хаотические автоколебания.
- 2.2. Простейшие аттракторы. Состояния равновесия нелинейных систем на фазовой плоскости, их исследование на устойчивость и основы классификации (центр, фокус, узел, седло). Устойчивая неподвижная точка как аттрактор. Понятие бассейна притяжения.
- 2.3. Карты динамических режимов. Понятие о численном моделировании динамики нелинейных систем. Карты динамических режимов на плоскости (в пространстве) параметров. Простейшие бифуркации. Складка и сборка.

Тема 3. Нелинейный осциллятор.

- 3.1. Качественный анализ типов движений. Примеры нелинейных осцилляторов. Маятник, контакт Джозефсона. Уравнения вида $\ddot{x} + f(x) = 0$ и их анализ: закон сохранения энергии, фазовая плоскость. Качественный анализ типов движений. Роль седел и сепаратрис.
- 3.2. Неизохронность и ангармоничность. Малые колебания: неизохронность и ангармоничность. Как влияет включение диссипации на динамику нелинейного осциллятора?

Тема 4. Вынужденные колебания нелинейного осциллятора и нелинейный резонанс.

- 4.1. Анализ задачи о нелинейном резонансе методом малого параметра. Уравнение динамики нелинейного осциллятора с внешним воздействием. Трехмерное фазовое пространство неавтономной системы. Анализ задачи о нелинейном резонансе методом малого параметра. Нелинейные резонансные кривые. Гистерезис. Складки и сборки на плоскости параметров частота-амплитуда воздействия.
- 4.2. Хаотическая динамика нелинейного осциллятора. Представление о выявленной численным моделированием сложной структуре карты динамических режимов. Возможность хаотической динамики нелинейного осциллятора. Нелинейный колебательный контур под внешним воздействием.
- 4.3. Резонанс на субгармониках. Резонанс на гармониках, субгармониках и комбинационных частотах.

Тема 5. Параметрические колебания.

- 5.1. Динамические системы, параметры которых меняются со временем периодически. Как мальчик раскачивается на качелях? Колебательный контур с периодическим изменением емкости. Уравнение Матье и уравнение Хилла.
- 5.2. Параметрический резонанс. Анализ устойчивости движений осциллятора $\ddot{x} + \omega^2(1 + \varepsilon \text{Sgn}(\sin \Omega t))x = 0$ в зависимости от амплитуды ε и частоты Ω параметрической накачки. Анализ уравнения Матье. Зоны устойчивости и неустойчивости на плоскости амплитуда - частота воздействия при отсутствии и при наличии диссипации.
- 5.3. Маятник Капицы. Устойчивость перевернутого маятника с вертикально колеблющейся точкой подвеса.
- 5.4. Стабилизация однородных движений взаимодействующих осцилляторов посредством высокочастотной периодической модуляции параметра связи. Анализ устойчивости синфазных колебаний двух связанных осцилляторов в зависимости от амплитуды и частоты параметрической накачки. Обобщение метода стабилизации однородных колебаний на цепочку связанных осцилляторов.

Тема 6. Автоколебания.

- 6.1. Примеры автоколебательных систем и их математические модели. Генератор на триодной лампе. Генератор на туннельном диоде. RC – генератор с мостом Вина. Маятник Фроуда. Закрепленный пружинами грузик на ленте, движущийся с постоянной скоростью. Свойства простейших автоколебательных систем. Уравнения Ван дер Поля и уравнение Релея. Другие примеры автоколебательных систем различной природы.
- 6.2. Уравнение Ван дер Поля. Фазовая плоскость уравнения Ван дер Поля. Бифуркация Андронова-Хопфа. Предельный цикл, как аттрактор, отвечающий периодическим автоколебаниям. Режимы слабой и сильной нелинейности: квазигармонические и релаксационные колебания.
- 6.3. Обобщенное уравнение для амплитуд. Метод медленно меняющихся амплитуд и решение уравнения Ван-дер-Поля вблизи точки бифуркации. Обобщенное уравнение для амплитуд и его использование Л.Д. Ландау в теории турбулентности.
- 6.4. Жесткое возбуждение автоколебаний. Автогенератор с жестким возбуждением. Уравнение для амплитуд генератора с жестким возбуждением. Анализ бифуркационных переходов. Характерные фазовые портреты и бассейны притяжения.
- 6.5. Исследование автоколебательных систем методом точечных отображений.

Тема 7. Синхронизация.

- 7.1. Общие представления. Явление синхронизации. Синхронизация часов, описанная Гюйгенсом. Примеры систем различной природы, демонстрирующие явление синхронизации.
- 7.2. Внешняя синхронизация периодических движений. Автогенератор под внешним периодическим воздействием и дифференциальное уравнение первого порядка для динамики фазы. Режимы захвата частоты и режимы биений. Тор как аттрактор, отвечающий квазипериодическим колебаниям.
- 7.3. Отображение окружности. Автогенератор под действием периодической последовательности импульсных толчков. Отображение окружности и характерная для него карта динамических режимов на плоскости параметров. Число вращения. Языки Арнольда. Периодическое, квазипериодическое и хаотическое поведение.
- 7.4. Взаимная синхронизация периодических движений. Синхронизация двух резистивно связанных генераторов Ван дер Поля.

Тема 8. Хаос.

- 8.1. Неустойчивость и хаотическая динамика. Простейшие примеры систем с хаотическим поведением. Связь между хаосом и неустойчивостью.
- 8.2. Базовые модели динамического хаоса. Задача о термоконвекции жидкости в петле и динамика однододового лазера: модель Лоренца. Динамика модели Лоренца. Другие примеры систем с хаотическим поведением: модель Ресслера, схема Чуа, генератор с инерционной нелинейностью. Странный аттрактор. Отображение Пуанкаре. Отображение Хенона и логистическое отображение. Итерационные диаграммы. Хаос в логистическом отображении.
- 8.3. Сценарии перехода к хаосу. Переход к хаосу через каскад удвоений периода и универсальность Фейгенбаума. Другие сценарии перехода к хаосу через перемежаемость и через квазипериодичность.
- 8.4. Знакомство с проблемами управления хаосом, синхронизации хаоса и управляемой синхронизации хаоса. Общее представление и постановка задачи. Управление и синхронизация хаоса в логистических отображениях.

Тема 9. Колебания в распределенных системах.

- 9.1. Модели распределенных систем. Примеры распределенных систем различной природы: лазер, лампа обратной волны, гидродинамические течения. Проблема турбулентности. Модели распределенных систем: уравнения в частных производных, уравнения с запаздыванием, решетки связанных отображений, клеточные автоматы, решетки связанных осцилляторов.
- 9.2. Приближенное конечномерное описание. Возможность приближенного конечномерного описания динамики некоторых распределенных систем: физические основания и теорема о центральном многообразии. Пример: уравнение Гинзбурга-Ландау и иерархии упрощающихся моделей.

Виды самостоятельной работы: проработка лекционного курса, решение задач, чтение дополнительной литературы.

Раздел 4. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. Л.И. Мандельштам. Лекции по теории колебаний. – М.: Наука, 1972.
2. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. Теория колебаний. – М.: Физматгиз, 1959; М.: Наука, 1981.
3. Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев. Введение в теорию нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1976.
4. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984.
5. В.С. Анищенко. Сложные колебания в простых системах. – М.: Наука, 1990.
6. Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001.
7. Дж. Гукенхеймер, Ф. Холмс. Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002.
8. А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин. Нелинейные колебания: Учеб. пособие для вузов. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2002.
9. А. Пиковский, М. Розенблум, Ю. Куртс. Синхронизация. Фундаментальные нелинейные явления. – М., Техносфера, 2003.
10. В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.Б. Нейман, Г.И. Стрелкова, Л. Шиманский-Гайер. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.

Дополнительная литература

11. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебания. – М.: Наука, 1972.
12. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
13. Арнольд В.И., Афраймович В.С., Ильясенко Ю.С., Шильников Л.П. Теория бифуркаций. М., том 5, 1986.
14. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика. – М.: Мир, 1984.
15. Странные аттракторы. Сборник статей под ред. Я.Г. Синая и Л.П. Шильникова. – М.: Мир, 1981.
16. Марсден Дж., Мак-Кракен М. Бифуркация рождения цикла и ее приложения. – М.: Мир, 1980.
17. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. – М.: Мир. 1980.
18. Рюэль Д. Случайность и хаос. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
19. Йосс Ж., Джозеф Д. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций. – М.: Мир, 1983.
20. Ланда П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. – М.: Наука, 1980.
21. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Шиманский-Гайер Л. Динамическое и статистическое описание колебательных систем. – Москва – Ижевск, 2005.

Раздел 5. Перечень средств обучения

Оптический проектор

Электронный проектор

Компьютеры

Имеется презентация части материала курса на электронных носителях.

Раздел 6. Вопросы к курсу

1. Что является предметом теории колебаний?
2. Что называется фазовым пространством динамической системы?
3. Что называется фазовым портретом динамической системы?
4. Какие состояния равновесия могут быть на фазовой плоскости?
5. Что называется осциллятором Дуффинга?
6. Как выглядит фазовый портрет линейного автономного осциллятора?
7. Какие типичные бифуркации состояний равновесия могут происходить в системах с двумерным фазовым пространством?
8. Что называется нормальной формой седло – узловой бифуркации состояний равновесия?
9. Что называется нормальной формой транскритической бифуркации состояний равновесия?
10. Что называется нормальной формой бифуркации типа вил состояния равновесия?
11. Что называется нормальной формой бифуркации Андронова – Хопфа состояний равновесия?
12. К каким основным эффектам приводит нелинейность?
13. Перечислите простейшие типы аттракторов.
14. Что называется бассейном притяжения аттрактора?
15. Определите методом медленно меняющихся амплитуд поправку к частоте для осциллятора Дуффинга.
16. В чем заключается явление нелинейного резонанса?
17. Определите точку сборки в пространстве параметров нелинейного неавтономного осциллятора.

18. Опишите явление резонанса на субгармониках.
19. Что называется уравнением Матье?
20. В чем состоит явление параметрического резонанса?
21. Как перестраиваются зоны неустойчивости Матье при введении диссипации в осциллятор?
22. Что понимают под автоколебаниями и автоколебательными системами? Приведите примеры автоколебательных систем различной физической природы.
23. Что называется осциллятором Ван дер Поля и осциллятором Релея?
24. Что называется устойчивым предельным циклом?
25. Используя метод медленно меняющихся амплитуд, получите из уравнения Ван дер Поля укороченные уравнения для амплитуд и фаз.
26. Опишите суперкритическую и субкритическую бифуркации Андронова - Хопфа.
27. В чем состоит явление синхронизации периодических движений?
28. Определите область синхронизации осциллятора Ван дер Поля при гармоническом воздействии.
29. Постройте качественно фазовые портреты для консервативного осциллятора Дуффинга.
30. Каковы характерные особенности автоколебательных систем с жестким возбуждением?
31. Определите координаты однократных неподвижных точек и выражения для собственных значений в логистическом отображении.
32. Получите выражение для ляпуновского характеристического показателя периодических движений в осцилляторе Ван дер Поля.