

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Нелинейные волны: качественная теория

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Нелинейные колебания и волны

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 Нелинейные волны: качественная теория относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1: Знать основные принципы сбора и анализа информации, методы критического анализа и оценки современных научных достижений в теории активных сред, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в этой области.</p> <p>ПК-1.2: Уметь работать с большим объемом данных исследований активных сред, готовить аналитические обзоры информации, полученной из различных источников, например, библиографических и реферативных баз РИНЦ, Scopus, Web of Science и др. II Владеет современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных в области активных сред, методами обработки, анализа и представления этих данных, например, с использованием таких библиотек языка python, как Pandas, SciPy, NumPy, Matplotlib, Keras,</p>	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

		PyTorch и др.		
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p>	<p>ПК-2.1: Знать основные составляющие качественной теории активных сред (определения, методы, теоремы).</p> <p>ПК-2.2: Уметь применять формульный аппарат качественной теории активных сред для исследования нелинейных волн в физических системах подобного типа.</p> <p>ПК-2.3: Владеть навыками планирования, подготовки и проведения НИР в области активных сред, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по дальнейшему направлению исследований.</p> <p>ПК-2.4: Уметь анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.</p>	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы Задания
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на</p>	<p>ПК-3.1: : Знать нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР в области активных сред, требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях соответствующего профиля.</p> <p>ПК-3.2: Уметь представлять результаты НИР в области активных сред</p>	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

	выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	академическому и бизнес-сообществу.  ПК-3.3: Владеть навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в том числе в области активных сред.		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1: Активные среды, их примеры и основные свойства	7	4		4	3
Тема 2: Бегущие импульсы, волны-переключения и их образы в фазовом пространстве	7	4		4	3

Тема 3: Периодические волны и бифуркационный метод обнаружения волн малой амплитуды	7	4		4	3
Тема 4: Хаотические волны и их образы в фазовом пространстве	7	4		4	3
Тема 5: Устойчивость бегущих волн	7	4		4	3
Тема 6: Волны в уравнении Колмогорова-Петровского-Пискунова-Фишера	6	3		3	3
Тема 7: Волны переключения в уравнении Зельдовича-Франк-Каменецкого	6	3		3	3
Тема 8: Бегущие импульсы в системе ФитцХью-Нагумо	5	2		2	3
Тема 9: Бегущие фронты в системе ФитцХью-Нагум	4	2		2	2
Тема 10: Полиморфные волновые паттерны в двумерной системе «реакция-диффузия» со сложно-пороговыми свойствами	5	2		2	3
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

### Содержание разделов и тем дисциплины

-

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к заданиям и контрольным вопросам для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, приведённым в пункте 5.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Провести бифуркационный анализ локального элемента активной среды.
2. Найти условия, при которых локальный элемент активной среды демонстрирует бистабильное, возбуждаемое или колебательное поведение.
3. Исследовать устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия активной среды с *периодическими и свободными граничными условиями*.
4. Найти условия градиентности пространственно-дискретной активной среды.
5. Найти области высокой мультистабильности состояний равновесия (пространственного беспорядка) бистабильной пространственно-дискретной активной среды.
6. Записать для одномерной активной среды соответствующую (автомодельную) систему для бегущих волн и провести анализ ее состояний равновесия.
7. Найти в пространстве параметров автомодельной системы области возможного существования гомоклинических и гетероклинических орбит.
8. Проанализировать динамику автомодельной системы при  $c \rightarrow 0$  и  $c \rightarrow \infty$ .

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Провести бифуркационный анализ локального элемента активной среды.
2. Найти условия, при которых локальный элемент активной среды демонстрирует бистабильное, возбуждаемое или колебательное поведение.
3. Исследовать устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия активной среды с *периодическими и свободными граничными условиями*.
4. Найти условия градиентности пространственно-дискретной активной среды.
5. Найти области высокой мультистабильности состояний равновесия (пространственного беспорядка) бистабильной пространственно-дискретной активной среды.
6. Записать для одномерной активной среды соответствующую (автомодельную) систему для бегущих волн и провести анализ ее состояний равновесия.
7. Найти в пространстве параметров автомодельной системы области возможного существования гомоклинических и гетероклинических орбит.
8. Проанализировать динамику автомодельной системы при  $c \rightarrow 0$  и  $c \rightarrow \infty$ .

#### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

1. Провести бифуркационный анализ локального элемента активной среды.
2. Найти условия, при которых локальный элемент активной среды демонстрирует бистабильное, возбуждаемое или колебательное поведение.
3. Исследовать устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия активной среды с *периодическими и свободными граничными условиями*.
4. Найти условия градиентности пространственно-дискретной активной среды.
5. Найти области высокой мультистабильности состояний равновесия (пространственного беспорядка) бистабильной пространственно-дискретной активной среды.
6. Записать для одномерной активной среды соответствующую (автомодельную) систему для бегущих волн и провести анализ ее состояний равновесия.
7. Найти в пространстве параметров автомодельной системы области возможного существования гомоклинических и гетероклинических орбит.
8. Проанализировать динамику автомодельной системы при  $c \rightarrow 0$  и  $c \rightarrow \infty$ .

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой



	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Активные среды. Модели активных сред. Основные виды движений.

Бегущие волны. Существование и классификация бегущих волн.

Бегущие импульсы и волны-переключения. Переход к (автомодельной) системе для бегущих волн. Гомоклинические и гетероклинические орбиты (траектории).

Волны переключения конечной амплитуды: случай дискретного набора скоростей переключения.

Существовавшие гомоклинических и гетероклинических орбит. Системы сравнения и поверхности без контакта.

Периодические волны. Бифуркационный метод обнаружения периодических волн малой амплитуды.

Хаотические волны и их образы в фазовом пространстве.

Асимптотическая устойчивость бегущих волн со сдвигом. Устойчивость бегущих волн по линейному приближению. Связь линейной и нелинейной устойчивости волн. Непрерывный спектр импульса и перепада.

Метод поглощающих областей, мультстабильность и провал распространения волн в пространственно-дискретных средах.

Волны логистической популяции в модели КПП-Фишера, их существование и устойчивость.

Волны-переключения в модели Зельдовича-Франк-Каменецкого, их существование и устойчивость.

Бегущие импульсы в модели ФитцХью-Нагумо, их существование и устойчивость.

Бегущие фронты в модели ФитцХью-Нагумо, их существование и устойчивость.

Полиморфные волновые паттерны в двумерной системе «реакция-диффузия» со сложно-пороговыми свойствами

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

Активные среды. Модели активных сред. Основные виды движений.

Бегущие волны. Существование и классификация бегущих волн.

Бегущие импульсы и волны-переключения. Переход к (автомодельной) системе для бегущих волн. Гомоклинические и гетероклинические орбиты (траектории).

Волны переключения конечной амплитуды: случай дискретного набора скоростей переключения.

Существовавшие гомоклинических и гетероклинических орбит. Системы сравнения и поверхности без контакта.

Периодические волны. Бифуркационный метод обнаружения периодических волн малой амплитуды.

Хаотические волны и их образы в фазовом пространстве.

Асимптотическая устойчивость бегущих волн со сдвигом. Устойчивость бегущих волн по линейному приближению. Связь линейной и нелинейной устойчивости волн. Непрерывный спектр импульса и перепада.

Метод поглощающих областей, мультистабильность и провал распространения волн в пространственно-дискретных средах.

Волны логистической популяции в модели КПП-Фишера, их существование и устойчивость.

Волны-переключения в модели Зельдовича-Франк-Каменецкого, их существование и устойчивость.

Бегущие импульсы в модели ФитцХью-Нагумо, их существование и устойчивость.

Бегущие фронты в модели ФитцХью-Нагумо, их существование и устойчивость.

Полиморфные волновые паттерны в двумерной системе «реакция-диффузия» со сложно-пороговыми свойствами

### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3**

Активные среды. Модели активных сред. Основные виды движений.

Бегущие волны. Существование и классификация бегущих волн.

Бегущие импульсы и волны-переключения. Переход к (автомодельной) системе для бегущих волн. Гомоклинические и гетероклинические орбиты (траектории).

Волны переключения конечной амплитуды: случай дискретного набора скоростей переключения.

Существовавшие гомоклинических и гетероклинических орбит. Системы сравнения и поверхности без контакта.

Периодические волны. Бифуркационный метод обнаружения периодических волн малой амплитуды.

Хаотические волны и их образы в фазовом пространстве.

Асимптотическая устойчивость бегущих волн со сдвигом. Устойчивость бегущих волн по линейному приближению. Связь линейной и нелинейной устойчивости волн. Непрерывный спектр импульса и перепада.

Метод поглощающих областей, мультистабильность и провал распространения волн в пространственно-дискретных средах.

Волны логистической популяции в модели КПП-Фишера, их существование и устойчивость.

Волны-переключения в модели Зельдовича-Франк-Каменецкого, их существование и устойчивость.

Бегущие импульсы в модели ФитцХью-Нагумо, их существование и устойчивость.

Бегущие фронты в модели ФитцХью-Нагумо, их существование и устойчивость.

Полиморфные волновые паттерны в двумерной системе «реакция-диффузия» со сложно-пороговыми свойствами

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена

Оценка	Критерии оценивания
	дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2

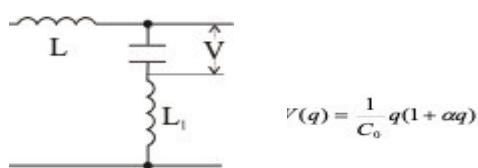
1. Какие типы стационарных волн возможны в среде, состояние которой описывается уравнением:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \sin u - \gamma, \quad \text{где } g \geq 0.$$

1. Какие типы стационарных волн возможны в среде, состояние которой описывается уравнением:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + u(1-u)$$

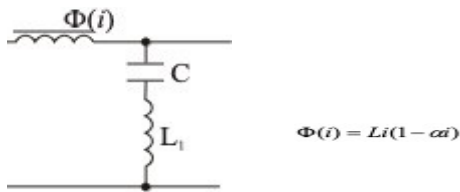
1. Выяснить, какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:



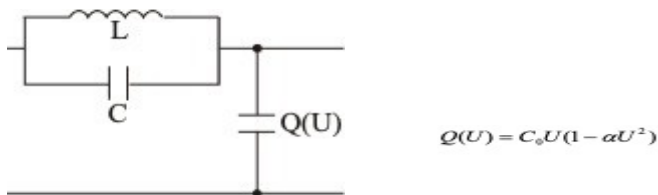
1. Выяснить, какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:



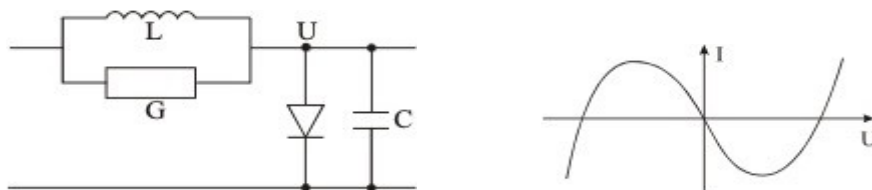
1. Какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:



1. Выяснить, какие стационарные волны могут существовать в линии, эквивалентная схема которой имеет вид:



1. Выяснить возможность существования автоколебаний в виде периодических стационарных волн в системе, эквивалентная схема которой имеет вид:



1. Исследуйте локальную динамику элемента ФитцХью-Нагумо

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) - y, \\ \dot{y} = \varepsilon(g(x) - y - I), \end{cases}$$

где  $f(x) = x(x-a)(1-x)$ ,  $\varepsilon = 0.001$ ,  $a \in (0, 1)$ ,  $b > 0$ . Постройте бифуркационную диаграмму и фазовые портреты системы.

1. Выделите область, отвечающую бистабильному поведению модифицированного элемента ФитцХью-Нагумо

$$\begin{cases} \dot{x} = x - x^3 / 3 - y, \\ \dot{y} = \varepsilon(g(x) - y - I), \end{cases}$$

где  $g(x) = \begin{cases} ax, & x \leq 0; \\ bx, & x > 0 \end{cases}$ ,  $a = 0.5$ ,  $b = 2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

1. Найти и классифицировать состояния равновесия системы:

$$\begin{cases} \dot{x} = x - y - x^3, \\ \dot{y} = x - y + z, \\ \dot{z} = -z + \alpha^3, \end{cases}$$

где  $\alpha \neq 0$ .

1. Покажите, что система

$$\dot{x}_j = f(x_j) + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1})$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ , является градиентной.

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородного состояния равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = e(x_j - b) \end{cases}$$

с периодическими граничными условиями, где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Используя теорему Гершгорина, оцените область устойчивости пространственно-однородного состояния равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = e(x_j - b) \end{cases}$$

со свободными граничными условиями.

1. Методом поглощающих областей оцените область высокой мультистабильности состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^2 / 3 - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = e(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

где  $g(x)=\{ax, x \leq 0; bx, x > 0\}$ ,  $a = 0.5$ ,  $b = 2$ ,  $e = 1$ ,  $I > 0$ .

1. Исследуйте тип состояний равновесия автотомельной системы для модели

$$\dot{x}_j = f(x_j) + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1})$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Постройте Подкову Смейла и выделите область пространственного беспорядка в системе

$$x_j(n+1) = af(x_j(n)) + d(x_{j-1}(n) - 2x_j(n) + x_{j+1}(n))$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Выделите область параметров, отвечающую возбудимому поведению элемента ФитцХью-Нагумо

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) - y, \\ \dot{y} = e(x - b) \end{cases}$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$ ,  $e=0.001$ ,  $a \in (0, 1)$ ,  $b>0$ .

1. Выделите область параметров, отвечающую колебательному поведению элемента ФитцХью-Нагумо

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) - y, \\ \dot{y} = e(x - b) \end{cases}$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$ ,  $e=0.001$ ,  $a \in (0, 1)$ ,  $b>0$ .

1. Покажите, что система

$$\dot{x}_{j,k} = f(x_{j,k}) + d(x_{j-1,k} + x_{j+1,k} + x_{j,k-1} + x_{j,k+1} - 4x_{j,k}),$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ , является градиентной.

1. Покажите, что система

$$\dot{x}_{j,k,m} = f(x_{j,k,m}) + d(x_{j-1,k,m} + x_{j+1,k,m} + x_{j,k-1,m} + x_{j,k+1,m} + x_{j,k,m-1} + x_{j,k,m+1} - 6x_{j,k,m}),$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ , является градиентной.

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородного состояния равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = e(x_j - b) \end{cases}$$

со свободными границами, где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Используя теорему Гершгорина, оцените область устойчивости пространственно-однородного состояния равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(x_j - b) \end{cases}$$

периодическими граничными условиями, где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$ .

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородного состояния равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1,k} + x_{j+1,k} + x_{j,k-1} + x_{j,k+1} - 4x_{j,k}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(x_j - b) \end{cases}$$

с периодическими граничными условиями по всем границам, где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородного состояния равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1,k,m} + x_{j+1,k,m} + x_{j,k-1,m} + x_{j,k+1,m} + x_{j,k,m-1} + x_{j,k,m+1} - 6x_{j,k,m}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(x_j - b) \end{cases}$$

с периодическими граничными условиями по всем границам, где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3 / 3 - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

с периодическими граничными условиями, где  $g(x)=\{ax, x \in [0; b], x > 0\}$ ,  $a=0.5$ ,  $b=2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3 / 3 - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

со свободными границами, где  $g(x)=\{ax, x \in [0; b], x > 0\}$ ,  $a=0.5$ ,  $b=2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

1. Используя теорему Гершгорина, оцените области устойчивости пространственно-однородных состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3 / 3 - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

для случая периодических и свободных граничных условий, где  $g(x)=\{ax, x \in [0; b], x > 0\}$ .

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3 / 3 - y_j + d(x_{j-1,k} + x_{j+1,k} + x_{j,k-1} + x_{j,k+1} - 4x_{j,k}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

с периодическими граничными условиями по всем границам, где  $g(x)=\{ax, x \in [0; b], x > 0\}$ ,  $a=0.5$ ,  $b=2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

1. Исследуйте устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3 / 3 - y_j + d(x_{j-1,k,m} + x_{j+1,k,m} + x_{j,k-1,m} + x_{j,k+1,m} + x_{j,k,m-1} + x_{j,k,m+1} - 6x_{j,k,m}), \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

с периодическими граничными условиями по всем границам, где  $g(x)=\{ax, x \in [0; b], x > 0\}$ ,  $a=0.5$ ,  $b=2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

1. Методом поглощающих областей оцените область высокой мультистабильности состояний равновесия системы

$$\dot{x}_j = f(x_j) + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1})$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Методом поглощающих областей оцените область высокой мультистабильности состояний равновесия системы

$$\dot{x}_{j,k} = f(x_{j,k}) + d(x_{j-1,k} + x_{j+1,k} + x_{j,k-1} + x_{j,k+1} - 4x_{j,k}),$$

где  $f(x)=x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Методом поглощающих областей оцените область высокой мультистабильности состояний равновесия системы

$$\dot{x}_{j,k,m} = f(x_{j,k,m}) + d(x_{j-1,k,m} + x_{j+1,k,m} + x_{j,k-1,m} + x_{j,k+1,m} + x_{j,k,m-1} + x_{j,k,m+1} - 6x_{j,k,m})$$

где  $f(x) = x(x-a)(1-x)$  и  $a \in (0, 1)$ .

1. Методом поглощающих областей оцените область высокой мультистабильности состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3/3 - y_j + d(x_{j-1,k} + x_{j+1,k} + x_{j,k-1} + x_{j,k+1} - 4x_{j,k}) \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

где  $g(x) = \{ax, x \leq 0; bx, x > 0\}$ ,  $a = 0.5$ ,  $b = 2$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $I > 0$ .

1. Методом поглощающих областей оцените область высокой мультистабильности состояний равновесия системы

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3/3 - y_j + d(x_{j-1,k,m} + x_{j+1,k,m} + x_{j,k-1,m} + x_{j,k+1,m} + x_{j,k,m-1} + x_{j,k,m+1} - 6x_{j,k,m}) \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

где  $g(x) = \{ax, x \leq 0; bx, x > 0\}$ ,  $a = 0.5$ ,  $b = 2$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $I > 0$ .

1. Исследуйте тип состояния равновесия автомодельной системы для модели

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x_j) - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}) \\ \dot{y}_j = \varepsilon(x_j - b) \end{cases}$$

где  $f(x) = x(x-a)(1-x)$ ,  $\varepsilon = 0.001$ ,  $a \in (0, 1)$ ,  $b > 0$ .

1. Исследуйте тип состояний равновесия автомодельной системы для модели

$$\begin{cases} \dot{x}_j = x_j - x_j^3/3 - y_j + d(x_{j-1} - 2x_j + x_{j+1}) \\ \dot{y}_j = \varepsilon(g(x_j) - y_j - I) \end{cases}$$

где  $g(x) = \{ax, x \leq 0; bx, x > 0\}$ . Найти области возможного существования гетероклинических орбит.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при



Оценка	Критерии оценивания
	этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### Основная литература:

1. Афраимович Валентин Сендорович. Решеточные динамические системы : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 1994. - 0.00., 5 экз.
2. Устойчивость, структуры и хаос в нелинейных сетях синхронизации / под общ. ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича ; АН СССР, Ин-т приклад. физики. - Горький, 1989. - 253 с. - 1.70., 4 экз.
3. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1992. - 454, [1] с. : ил. - 62.50., 1 экз.
4. Сборник задач по теории колебаний : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1978. - 271 с. : ил. - 0.75., 149 экз.

### Дополнительная литература:

1. Горяченко Вадим Демьянович. Элементы теории колебаний : учеб. пособие для студентов вузов. - Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1995. - 430 с. - ISBN 5-7470-0127-2 : 10000.00., 389 экз.
2. Андронов Александр Александрович. Теория колебаний / с предисл. Л. И. Мандельштама. - 2-е изд. - М. : Наука, 1981. - 568 с. : ил. - 2.60., 274 экз.
3. Мандельштам Леонид Исаакович. Лекции по теории колебаний / АН СССР, Отд-ние общ. физики и астрономии. - М. : Наука, 1972. - 470 с. : с черт. - 1.87., 115 экз.
4. Бутенин Н. В. Введение в теорию нелинейных колебаний : [учеб. пособие для втузов]. - М. : Наука, 1987. - 382 с. - 1.00., 50 экз.
5. Боголюбов Николай Николаевич. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. - Изд. 4-е, испр. и доп. - М. : Наука, 1974. - 503 с. : черт. - 2.07., 25 экз.
6. Стрелков Сергей Павлович. Введение в теорию колебаний : [учеб. для вузов]. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1964. - 437 с. : с черт. - 0.80., 23 экз.
7. Трубецков Дмитрий Иванович. Введение в теорию самоорганизации открытых систем : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физическим специальностям. - М. : Физматлит, 2002. - 200 с. - (Современная теория колебаний и волн). - В надзаг.: Федеральная целевая программа "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки". - ISBN 5-94052-052-9 : 26.00., 10 экз.

8. Кузнецов Александр Петрович. Нелинейные колебания : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физическим специальностям. - М. : Физматлит, 2002. - 292 с. - (Современная теория колебаний и волн). - В надзаг.: Федеральная целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - ISBN 5-94052-058-8 : 35.00., 9 экз.
9. Шустер Гейнц Георг. Детерминированный хаос : Введение / пер. с англ. Ф. М. Израйлева [и др.] ; под ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича. - М. : Мир, 1988. - 240 с. : ил. - 2.60., 3 экз.
10. Самойленко Анатолий Михайлович. Элементы математической теории многочастотных колебаний. Инвариантные торы. - М. : Наука, 1987. - 301, [1] с. - 2.90., 3 экз.
11. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах / под ред. В. С. Анищенко. - М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. - 544 с. - (Компьютинг в математике, физике, биологии). - ISBN 5-93972-289-X : 58.00., 2 экз.
12. Рабинович Михаил Израилевич. Теория колебаний и волн : курс лекций. Ч. 1 / ГГУ им. Н. И. Лобачевского. - Горький : [б. и.], 1977. - 56 с. - 0.15., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Электронно-библиотечная система «Консультант студента»
  2. Электронно-библиотечная система «Лань»
  3. Электронно-библиотечная система «Znaniium.com»
  4. Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ»
  5. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE»
  6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU»
  7. webofknowledge.com
  8. www.scopus.com
- 
1. М.В. Иванченко, Нелинейные колебания и волны в решеточных системах с беспорядком : учебное пособие [Электронный ресурс]. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. — 104 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/153505>
  2. В.К. Баев, Теория колебаний : учебное пособие для вузов [Электронный ресурс].— Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 348 с. Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/494483>
  3. Д.В. Вагин, Численное моделирование динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями : учебное пособие [Электронный ресурс] - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 63 с. Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239418.html>
  3. А.С. Братусь, А.С. Новожилов, А.П. Платонов, Динамические системы и модели в биологии [Электронный ресурс] - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 400 с. Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111928.html>
  4. Г.Т. Алдошин, Теория линейных и нелинейных колебаний [Электронный ресурс]. Изд-во "Лань", 2013. - 320 с. Режим доступа: [https://e.lanbook.com/book/4640?category\\_pk=918#authors](https://e.lanbook.com/book/4640?category_pk=918#authors)
  5. В.К. Романко, Курс разностных уравнений : учебное пособие [Электронный ресурс]. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 200 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59620>
  6. В.В. Матросов, Вынужденная синхронизация. Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2013. Режим доступа: [http://old.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual\\_matrosov\\_forced\\_synch.pdf](http://old.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_matrosov_forced_synch.pdf)
  7. М.И. Мотова, Исследование динамики систем с разрывными колебаниями: Составитель Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. – Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2010. Режим доступа:

[http://old.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual\\_motova\\_break.doc](http://old.rf.unn.ru/rus/ktk/sites/default/files/manual_motova_break.doc)

8. В.М. Аникин, А.Ф. Голубенцев, Аналитические модели детерминированного хаоса [Электронный ресурс]. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 328 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5257>

9. А.Л. Пригоровский, В.М. Сандалов, А.А. Ширяева, Сборник задач по теории колебаний, устойчивости движения и элементам качественной теории дифференциальных уравнений : учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. Ч. 1 - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2019. - 33 с. Режим доступа: <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/Mobject/398>; <https://e.lanbook.com/book/144964>;

10. А.Л. Пригоровский, В.М. Сандалов, А.А. Ширяева, Сборник задач по теории колебаний, устойчивости движения и элементам качественной теории дифференциальных уравнений : учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. Ч. 2 - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2019. - 33 с. Режим доступа: <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/Mobject/153>; <https://e.lanbook.com/book/191904>;

Доступ к обозначенным ресурсам может осуществляться либо в компьютерных классах ННГУ, подключенных к сети Интернет, либо при наличии технических возможностей в домашних условиях.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Некоркин Владимир Исаакович, доктор физико-математических наук, профессор.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Матросов Валерий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.