

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  
президиумом Ученого совета ННГУ

протокол № 13 от  
30 » ноября 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
Волновые структуры в решеточных системах

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы  
Нелинейные колебания и волны

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02, Волновые структуры в решеточных системах относится к части ОПОП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	
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: Знает основные принципы сбора и анализа информации, методы критического анализа и оценки современных научных достижений в теории динамических систем решеточного типа, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в этой области.</p> <p>ПК-1.2: Умеет работать с большим объемом данных исследований решеточных динамических систем, готовить аналитические обзоры информации, полученной из различных источников, например, библиографических и реферативных баз РИНЦ, Scopus, Web of Science и др.</p>	Собеседование
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 оформл	<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-2.1: Знает основные составляющие качественной теории решеточных динамических систем (определения, методы, теоремы).</p> <p>ПК-2.2: Умеет применять формульный аппарат качественной теории решеточных динамических систем для исследования волновых структур в физических системах подобного типа.</p> <p>ПК-2.3: Владеет навыками планирования, подготовки и проведения НИР в области решеточных динамических систем,</p>	Собеседование/ Задача (практическое задание)

		анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по дальнейшему направлению исследований. ПК-2.4. Умеет Анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	
ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	ПК-2.4. Умеет Анализировать полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	
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 бизнессообществу.</p> <p>ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.</p>	<p>ПК-3.1: Знает нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР в области решеточных динамических систем, требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях соответствующего профиля.</p> <p>ПК-3.2. Умеет представлять результаты НИР в области решеточных динамических систем академическому и бизнессообществу.</p> <p>ПК-3.3. Владеет навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в том числе в области решеточных динамических систем.</p>	Собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>
	<b>зачет</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего		
	очная	очная	очная	очная	очная	очная	
Тема 1: Примеры и основные свойства решеточных динамических систем.	10	5	0	0	5	5	
Тема 2: Пространственно-временная динамика дискретного уравнения Хаксли.	11	5	0	0	5	6	
Тема 3: Устойчивость решеточных динамических систем.	12	5	0	0	5	7	
Тема 4: Состояния равновесия.	12	5	0	0	5	7	
Тема 5: Стационарные бегущие волны.	13	6	0	0	6	7	
Тема 6: Двумерный пространственный беспорядок.	13	6	0	0	6	7	
Аттестация	0						
КСР	1				1		
Итого	72	32	0	0	33	39	

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя изучение выходящих за рамки дисциплины аспектов теории решеточных динамических систем. Для этого используются посвященные таким аспектам книги, учебно-методические пособия, включая рекомендованные, электронный курсы и статьи, которые можно найти в читальном зале библиотеки ННГУ и на соответствующих ресурсах сети Интернет, в том числе:

1. Электронно-библиотечная система «Консультант студента»
2. Электронно-библиотечная система «Лань»
3. Электронно-библиотечная система «Znanium.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

Доступ к обозначенным ресурсам может осуществляться либо в компьютерных классах ННГУ, подключенных к сети Интернет, либо при наличии технических возможностей в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения аудиторных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр

	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	рированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	рированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	рированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . 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 оценки 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
	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 этом

		хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	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»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

### 5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
Примеры динамических систем решеточного типа	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Фазовое пространство решеточных динамических систем	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Свойства эволюционных операторов решеточных динамических систем	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Простейшие движения решеточных динамических систем	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Определение пространственного хаоса	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Трансляционная динамическая система	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Техника построения «подковы Смейла» для нахождения инвариантного гиперболического множества трансляционной динамической системы	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Линейная устойчивость решений решеточных динамических систем	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Оценка спектра оператора линеаризации для решеточных динамических систем	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Теорема и круги Гершгорина для линейного оператора решеточной динамической системы	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Устойчивость пространственно однородных состояний равновесия решеточной динамической системы	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Устойчивость пространственно неоднородных состояний равновесия решеточной динамической системы	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Упрощение анализа устойчивости состояний равновесия решеточной динамической системы в симметричном случае	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Уравнение для стационарных бегущих волн	ПК-1, ПК-2,

	ПК-3
Динамика оператора эволюции на инвариантном многообразии	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Устойчивость стационарных волн и хаос волн	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Пространственный беспорядок в двумерной решеточной системе	ПК-1, ПК-2, ПК-3
Стационарные волны в двумерных решеточных системах	ПК-1, ПК-2, ПК-3

### 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Провести бифуркационный анализ локального элемента решеточной динамической системы.
2. Найти условия, при которых локальный элемент решеточной динамической системы демонстрирует бистабильное, возбужденное или колебательное поведение.
3. Найти условия градиентности решеточной динамической системы.
4. Исследовать устойчивость пространственно-однородных состояний равновесия решеточной динамической системы **с периодическими и свободными граничными условиями**.
5. Используя теорему Гершгорина, оценить область устойчивости пространственно-однородного состояния равновесия решеточной динамической системы.
6. **Найти области высокой мультистабильности состояний равновесия (пространственного беспорядка) бистабильной решеточной динамической системы.**
7. Построить Подкову Смейла и выделить область пространственного беспорядка в системе связанных точечных отображений.
8. Записать для одномерной решеточной динамической системы соответствующую (автомодельную) систему для бегущих волн и провести анализ ее состояний равновесия.
9. Найти в пространстве параметров автомодельной системы области возможного существования гомоклинических и гетероклинических орбит.
10. Проанализировать динамику автомодельной системы при  $c \rightarrow 0$  и  $c \rightarrow \infty$ .

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Исследуйте локальную динамику элемента ФитцХью-Нагумо

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

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

2. 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  $g(x) = \{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

3. 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  $\alpha \neq 0$ .

4. 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.

5. Исследуйте устойчивость пространственно-однородного состояния равновесия системы

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

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

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

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

со свободными граничными условиями.

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

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

где  $g(x) = \{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 2$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $I > 0$ .

8. Исследуйте тип состояний равновесия автомодельной 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  $a \in (0, 1)$ .

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

$$x_j(n+1) = \alpha f(x_j(n)) + d(x_{j-1}(n) - 2x_j(n) + x_{j+1}(n)),$$

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

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

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

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

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

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

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

12. 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.

13. 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.

14. Исследуйте устойчивость пространственно-однородного состояния равновесия системы

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

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

15. 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  $f(x)=x(x-a)(1-x)$ .

16. 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  $a \in (0, 1)$ .

17. 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  $a \in (0, 1)$ .

18. 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  $g(x)=\{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $\beta=2$ ,  $\varepsilon>0$ ,  $I>0$ .

19. 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  $g(x)=\{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $\beta=2$ ,  $\varepsilon>0$ ,  $I>0$ .

20. 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  $g(x)=\{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ .

21. 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  $g(x)=\{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $\beta=2$ ,  $\varepsilon>0$ ,  $I>0$ .

22. 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  $g(x) = \{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 2$ ,  $\varepsilon > 0$ ,  $I > 0$ .

23. 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  $a \in (0, 1)$ .

24. 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  $a \in (0, 1)$ .

25. 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  $a \in (0, 1)$ .

26. 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  $g(x) = \{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 2$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $I > 0$ .

27. 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  $g(x) = \{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 2$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $I > 0$ .

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

29. 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  $g(x) = \{\alpha x, x \leq 0; \beta x, x > 0\}$ . Найти области возможного существования гетероклинических орбит.

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

а) основная литература:

1. В.С. Афраймович, В.И. Некоркин, Решеточные динамические системы : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегор. Ун-та, 1994. - 62 с. (5 экземпляров в библиотеке ННГУ)

2. В.С. Афраймович, В.И. Некоркин, Г.В. Осипов, В.Д. Шалфеев, 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. (4 экземпляра в библиотеке ННГУ). Режим доступа: <https://www.ipfran.ru/api/elibrary/11573/38.pdf>

3. В.И. Некоркин, Лекции по основам теории колебаний : учеб. пособие для студентов ННГУ, специализирующихся в области радиофизики, приклад. математики и мат. моделирования / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 311 с. (152 экземпляра в библиотеке ННГУ)

4. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков, Введение в теорию колебаний и волн. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1992. - 454 с. (1 экземпляра в библиотеке ННГУ)

5. Л.В. Постников, В.И. Королев, Т.М. Тарантович, и др., Сборник задач по теории колебаний : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1978. - 271 с. (149 экземпляров в библиотеке ННГУ)

б) дополнительная литература:

6. В.Д. Горяченко, Элементы теории колебаний : учеб. пособие для студентов вузов. - Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1995. - 430 с. (391 экземпляр в библиотеке ННГУ)

В.Д. Горяченко, Элементы теории колебаний : учеб. пособие для вузов. - М. : Высшая школа, 2001. - 395 с. (2 экземпляра в библиотеке ННГУ)

7. А.А. Андронов, А.А. Витт, С.А. Хайкин, Теория колебаний / с предисл. Л. И. Мандельштама. - 2-е изд. - М. : Наука, 1981. - 568 с. (349 экземпляров в библиотеке ННГУ)

8. Л.И. Мандельштам, Лекции по теории колебаний / АН СССР, Отд-ние общ. физики и астрономии. - М. : Наука, 1972. - 470 с. (115 экземпляров в библиотеке ННГУ)

9. Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев, Введение в теорию нелинейных колебаний : [учеб. пособие для вузов]. - М. : Наука, 1987. - 382 с. (80 экземпляров в библиотеке ННГУ)

10. Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский, Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. - Изд. 4-е, испр. и доп. - М. : Наука, 1974. - 503 с. (25 экземпляров в библиотеке ННГУ)

11. С.П. Стрелков, Введение в теорию колебаний : [учеб. для вузов]. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1964. - 437 с. (23 экземпляра в библиотеке ННГУ)

12. Д.И. Трубецков, Введение в теорию самоорганизации открытых систем : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физическим специальностям. - М. : Физматлит, 2002. - 200 с. (10 экземпляров в библиотеке ННГУ)

13. А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин, Нелинейные колебания : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физическим специальностям. - М. : Физматлит, 2002. - 292 с. (9 экземпляров в библиотеке ННГУ)

14. Г.Г. Шустер, 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. (3 экземпляра в библиотеке ННГУ)

15. А.М. Самойленко, Элементы математической теории многочастотных колебаний. Инвариантные торы. - М. : Наука, 1987. - 301 с. (3 экземпляра в библиотеке ННГУ)

16. В.С. Анищенко, В.В. Сложные колебания в простых системах : Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах. - М. : Наука, 1990. - 310 с. (2 экземпляра в библиотеке ННГУ)

17. 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 / под ред. В. С. Анищенко. - М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. - 544 с. (2 экземпляра в библиотеке ННГУ)

18. В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, Регулярные и хаотические автоколебания : Синхронизация и влияние флуктуаций : [учеб.-моногр.]. - Долгопрудный : Интеллект, 2009. - 312 с. (1 экземпляр в библиотеке ННГУ)

19. М.И. Рабинович. Теория колебаний и волн : курс лекций. Ч. 1 / ГГУ им. Н. И. Лобачевского. - Горький : [б. и.], 1977. - 56 с. (1 экземпляр в библиотеке ННГУ)

в) Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины), в том числе

20. В.И. Некоркин, В.Б. Казанцев, Динамическое копирование и обработка информации в многослойных бистабильных решетках. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые подходы в исследованиях и разработках информационно-телекоммуникационных систем и технологий» [Электронный ресурс]. Нижний Новгород, 2007, 103 с. Режим доступа: <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/22.pdf>

21. 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>

22. В.К. Баев, Теория колебаний : учебное пособие для вузов [Электронный ресурс].— Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 348 с. Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/494483>

23. 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>

24. 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>

25. 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)

26. В.К. Романко, Курс разностных уравнений : учебное пособие [Электронный ресурс]. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 200 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59620>

27. 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)

28. 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)

29. 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>

30. 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>;

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>;

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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения. Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет»; и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

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 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Некоркин В.И. д.ф.-м.н., проф. каф. Теории колебаний и автоматического регулирования

Рецензент(ы): Осипов Г.В., д.ф.-м.н., доц., зав. каф. теории управления и динамики систем ИИТММ

Заведующий кафедрой: Матросов В.В. д.ф.-м.н., проф.

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета, от 14.11.22, протокол № 08/22.