

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

**Высшая школа общей и прикладной физики**  
(факультет)

---

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ВШОПФ \_\_\_\_\_ Е.Д. Господчиков

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Теория колебаний и волн**

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 Физика

---

Направленность образовательной программы  
профиль: Фундаментальная физика

---

Квалификация (степень)  
бакалавр

---

Форма обучения  
очная

---

Нижегород

2019

**1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Теория колебаний и волн» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Дисциплина является обязательной для освоения в пятом и шестом семестрах третьего года обучения в бакалавриате.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у студентов современного представления об основных методах радиофизики, используемых при анализе физических процессов различной природы;
- освоение студентами методов теоретического расчета на примерах простейших сосредоточенных и распределенных физических систем;
- формирование у студентов в ходе лекционных, практических и семинарских занятий понимания единства физической картины явлений различной природы;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<p><b>ПК-1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (этап освоения – <b>базовый</b>)</p>	<p><i>З1 (ПК-1) Знать</i> основные методы анализа нелинейных динамических систем на фазовой плоскости; основы анализа линейных колебательных систем; методы теории возмущений для анализа слабонелинейных систем; основы теории адиабатических инвариантов.</p> <p><i>У1 (ПК-1) Уметь</i> формализовать основные физические процессы в нелинейных колебательных системах.</p> <p><i>В1 (ПК-1) Владеть</i> навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>
<p><b>ПК-2</b> способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (этап освоения – <b>базовый</b>)</p>	<p><i>У2 (ПК-2) Уметь</i> находить пороги возникновения стохастичности.</p> <p><i>В2 (ПК-2) Владеть</i> основами стохастической динамики физических систем малой размерности.</p>

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 7 зачетных единиц, всего 252 часа, из которых 132 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (64 часа занятия лекционного типа, 64 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 4 часа мероприятия промежуточной аттестации), 45 часов подготовка и сдача экзамена, 75 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Линейный осциллятор	10	3	3		6	4
Тема 2. Нелинейный осциллятор	10	3	3		6	4
Тема 3. Параметрический резонанс в линейных системах	10	3	3		6	4
Тема 4. Адиабатические инварианты	10	3	3		6	4
Тема 5. Системы с быстро изменяющимися параметрами	10	3	3		6	4
Тема 6. Резонанс в нелинейных системах	10	3	3		6	4
Тема 7. Периодические автоколебания	10	3	3		6	4
Тема 8. Метод Ван-дер-Поля	10	3	3		6	4
Тема 9. Стохастичность в динамических системах	26	8	8		16	10
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Дифференцируемый Зачет					2	
Тема 10. Глобальная стохастичность	9	3	3		6	3
Тема 11. Колебания в упорядоченных структурах	9	3	3		6	3
Тема 12. Неустойчивость	9	3	3		6	3
Тема 13. Трехволновые взаимодействия	9	3	3		6	3
Тема 14. Множественные синхронизмы	9	3	3		6	3
Тема 15. Ударные волны и солитоны	9	3	3		6	3
Тема 16. Устойчивость солитонов	9	3	3		6	3
Тема 17. Самофокусировка волн	12	3	3		6	6
Тема 18. Интегрируемость уравнений	22	8	8		16	6
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	45

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семи-

нарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на дифференцированном зачете и экзамене.

#### **4. Образовательные технологии**

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине являются дифференцированный зачет и экзамен, в ходе которых оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

**Типовые задачи**, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

#### Задача 1.

Вычислить ponderomotorную силу для маятника длиной  $L$  с вертикально колеблющейся точкой подвеса по закону  $a \sin \omega t$ . Считать  $\omega^2 \gg g/L$ .

#### Задача 2

Вычислить нелинейную поправку к частоте для осциллятора, движение которого описывается уравнением ( $\beta \ll 1$ ):  $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x + \beta x^3 = 0$ .

#### Задача 3

Исследовать на устойчивость стационарные однородные решения уравнения:  
 $\partial_t n = \gamma n - \mu n^2 + D \partial_{xx} n$ .

#### Задача 4

Найти солитон уравнения мКдВ:  $\partial_t u + u^2 \partial_x u + \beta \partial_{xxx} u = 0$ .

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основы гамильтоновой механики, описание свойств динамической системы с помощью фазовой плоскости, условия линейного и нелинейного резонансов, параметрической неустойчивости, характеристики состояний равновесия на фазовой плоскости, основы многопараметрической теории возмущений, основы теории стохастических систем	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучаю-	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	щегося от ответа						
<u>Умения</u> Уметь пользоваться методами анализа динамической системы на фазовой плоскости, законами гамильтоновой механики для расчета инкремента неустойчивостей, нелинейных поправок к частоте, амплитуды колебаний в условиях линейного и нелинейного резонансов, для нахождения адиабатических инвариантов, для расчета условия возникновения стохастичности.	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основываясь на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.	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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и/или теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы в том числе сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«незачет»	«зачет»
<u>Умения</u> Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области	Отсутствие умения применять полученные знания при решении стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Продемонстрированы все основные умения. Решены стандартные задачи.
<u>Навыки</u> Владеть статистическими методами описания макроскопических систем и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.	Отсутствие навыков решения стандартных задач	Продемонстрированы базовые навыки при решении типовых задач
Шкала оценок по проценту пра-	0 – 50 %	50 – 100%

вильно выполненных контрольных заданий		
--	--	--

## 6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.

Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оцен-



ки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

**Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

- 1) Бифуркационная диаграмма линейного осциллятора
- 2) Основные типы состояний равновесия на фазовой плоскости
- 3) Резонансные потери
- 4) Зависимость периода и спектра колебаний нелинейного осциллятора от амплитуды.
- 5) Оценка порогов возникновения параметрической неустойчивости в зависимости от номера зоны.
- 6) Точность сохранения адиабатического инварианта линейного осциллятора с медленно изменяющейся частотой.
- 7) Оценить глубину проникновения поперечной электромагнитной волны в плавно-неоднородную среду с кубической нелинейностью.
- 8) Найти зоны возможной генерации колебаний монотрона в зависимости от энергии электронов на входе.
- 9) Почему при движении в высокочастотных порях возможно удержание электронов усредненной ponderomotorной силой, а в статических электрических полях это невозможно.
- 10) Почему для системы связанных осцилляторов спектр нормальных частот всегда шире спектра парциальных частот.
- 11) Эффект Вина. Демпфирование колебаний
- 12) Эффект синхронизации двух связанных автогенераторов
- 13) Эффект гистерезиса вынужденных колебаний нелинейного осциллятора при медленном изменении частоты внешней силы.
- 14) Принцип «суперпозиции» эффектов в рамках метода Ван-дер-Поля
- 15) Динамическая модель броуновского движения.
- 16) Критерии глобальной стохастичности
- 17) Стохастическое ускорение заряженных частиц
- 18) Критерии глобальной стохастичности.
- 19) Дисперсионное уравнение.
- 20) Длинноволновое приближение.
- 21) Метод моментов.
- 22) Абсолютная и конвективная неустойчивость.
- 23) Условия синхронизма волн
- 24) Соотношения Мэнли-Роу
- 25) Оценка времени или длины опрокидывания волн.
- 26) Структура фронта ударной волны.

- 27) Солитоны уравнений КдВ и НУШ.
- 28) Устойчивость многообразия решений.
- 29) Качественная картина самофокусировки
- 30) Оценка длины самофокусировки
- 31) Вариационный подход (метод Уизема).
- 32) Метод  $L$ -А пары для поиска решения нелинейных уравнений в частных производных.
- 33) Метод Дарбу и безотражательные потенциалы в уравнении НУШ.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин:

Задача 1.1

Найти границу зон параметрической неустойчивости для осциллятора с частотой, меняющейся по закону  $\omega(t) = \omega_0 \{1 + h \sin(2\pi t / T)\}$   $x + \beta x^3 = 0$

Задача 1.2

Найти адиабатический инвариант и условия его применимости для шарика, катающегося по горизонтальному столу между двумя стенками, одна из которых медленно колеблется.

Задача 1.3

Найти порог возникновения глобальной стохастичности в точечном отображении:

$$\bar{J} = J + K \sin \theta, \quad \bar{\theta} = \theta + \bar{J}^2.$$

Задача 1.4

Найти длину опрокидывания малой модуляции скорости газа  $v = v_0 \sin \omega t \ll c_s$ , используя условие адиабаты  $\partial p / \partial \rho = c_s^2$ .

Задача 1.5

Найти интеграл движения (аналог соотношений Мэнли-Роу) для двух связанных осцилляторов:  $x_1'' + \omega^2 x_1 = 2\alpha x_1 x_2$ ,  $x_2'' + 4\omega^2 x_2 = \alpha x_1^2$ .

Для оценки сформированности компетенции ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и/или теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы в том числе сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта:

Задача 2.1

Оценить глубину проникновения квазимонохроматического поля с амплитудой  $E$  в плоскоструктурную среду с  $\varepsilon = 1 - z / L + \beta |E|^2$  в адиабатическом приближении.

Задача 2.2

Найти инвариантную меру отображения  $\bar{x} = 1 - |2x - 1|$ ,  $x \in [0, 1]$ .

Задача 2.3

Найти амплитуду установившихся колебаний бесконечной цепочки маятников длиной  $l$  и массой  $m$ , связанных пружинками жесткостью  $k$ , при воздействии на один из маятников силы  $F \sin \omega t$ .

#### Задача 2.4

В безаберрационном приближении определить условия возникновения коллапса в среде с параболическим профилем плотности:  $\partial_z u + \Delta_\perp u + \beta |u|^2 u + \alpha r^2 u = 0$ .

#### Задача 2.5

Оценить число солитонов КдВ для начального распределения:  $u = A/\cosh^2 x$ .

### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Теория колебания и волн»**

а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. в 10 т. Т. 1. Механика, 1988. -216 с. -293 экз.
- 2) А. А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин, «Теория колебаний». - М.: Физматлит, 1959.- 915 с. -64 экз.
- 3) М. И. Рабинович, Д. И Трубецков. М.: Наука «Введение в теорию колебаний и волн».- 432 с. -170 экз.
- 4) А.А. Балакин, Г.М. Фрайман Основы теории колебаний и волн. Динамика сосредоточенных и распределенных систем. Н. Новгород: ФИЦ ИПФ РАН, 2016. (Деканат ВШОПФ) -30 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) «Сборник задач по теории колебаний» под редакцией Л.В.Постникова и В.И.Королева, Тарантович Т. М, М. Наука, 1978. -271 с. -172 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1)Саратовская группа Теоретической Нелинейной Динамики  
<http://www.sgtnd.narod.ru/rus/index.htm>
- 2) СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН  
Серия книг, подготовленная преподавателями факультета нелинейных процессов Саратовского государственного университета и изданная в 2000-2002 гг.  
<http://www.sgtnd.narod.ru/pabl/rus/series.htm>
- 3) Справочник "Биофизики России" Г.Ю.Ризниченко. Лекции по математическим моделям в биологии <http://www.library.biophys.msu.ru/LectMB/>

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

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная физика».

Авторы	_____	И.Ю. Костюков
	_____	А.А. Балакин
Рецензент	_____	В.А. Миронов

Программа одобрена на заседании методической комиссии факультета «Высшая школа общей и прикладной физики»  
от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ А.М. Фейгин