

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Нелинейные волновые процессы

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

01.04.03 - Механика и математическое моделирование

---

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.12 Нелинейные волновые процессы относится к обязательной части 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
УК-5: Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	УК-5.1: Знать особенности разнообразия культур. УК-5.2: Уметь анализировать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия. УК-5.3: Владеть принципами и ограничениями межкультурного взаимодействия.	УК-5.1: Знать особенности разнообразия культур.  УК-5.2: Уметь анализировать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.  УК-5.3: Владеть принципами и ограничениями межкультурного взаимодействия.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1: Знать принципы планирования и определения приоритетов собственной деятельности. УК-6.2: Уметь реализовывать приоритеты собственной деятельности на основе планирования. УК-6.3: Владеть способами совершенствования собственной деятельности на основе самооценки.	УК-6.1: Знает принципы планирования и определения приоритетов собственной деятельности.  УК-6.2: Уметь реализовывать приоритеты собственной деятельности на основе планирования.  УК-6.3: Владеть способами совершенствования собственной деятельности на основе самооценки.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ОПК-1: Способен	ОПК-1.1: Знает основы	ОПК-1.1:	Собеседование	

находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	<p>фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук.</p> <p>ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук.</p> <p>ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики.</p>	<p>Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук.</p> <p>ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать нелинейные волновые задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук.</p> <p>ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач нелинейных волновых процессов.</p>		Зачёт: Контрольные вопросы
ОПК-2: Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	<p>ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования.</p> <p>ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения задач профессиональной и научной деятельности на основе теоретических знаний в области математических и компьютерных наук.</p> <p>ОПК-2.3: Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и научной деятельности.</p>	<p>ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования.</p> <p>ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения нелинейных волновых задач.</p> <p>ОПК-2.3: Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач нелинейных волновых процессов.</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-3: Умеет разрабатывать, исследовать, применять математические модели для расчётов, проводить расчётно-экспериментальные работы и исследования,	<p>ПК-3.1: Знает классические модели механики, методы решения задач, современные программные комплексы для проведения расчётных исследований, методы проведения, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований.</p> <p>ПК-3.2: Умеет</p>	<p>ПК-3.1: Знает классические модели механики, методы решения задач, современные программные комплексы для проведения расчётных исследований, методы проведения, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований.</p>	Задания	Зачёт: Задания

обработку и анализ результатов, оформление отчётной документации	самостоятельно проводить расчётно-экспериментальные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований. ПК-3.3: Имеет практический опыт применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований.	ПК-3.2: Умеет самостоятельно проводить расчётно-экспериментальные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований.  ПК-3.3: Имеет практический опыт применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований нелинейных волновых процессов.		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</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>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</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			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные	Всего	

			работы), часы		
	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О
Основные модели эволюции нелинейных волн	8	2	2	4	4
Простые волны (волны Римана)	12	2	2	4	8
Нелинейные волны в средах с диссипацией. Уравнение Бюргерса	17	4	4	8	9
Солитоны	17	4	4	8	9
Модулированные волны в нелинейных средах	17	4	4	8	9
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные модели эволюции нелинейных волн. Нелинейные волны в среде без дисперсии и диссипации. Волны в нелинейной среде с диссипацией. Волны в нелинейных средах с дисперсией (дисперсия в области низких частот; дисперсия в области высоких частот; среда с дисперсией и диссипацией). Распространение волновых пакетов.
2. Простые волны (волны Римана). Уравнение простой волны и его решение методом характеристик. Спектр опрокидывающейся волны. Образование разрывов в простой волне.
3. Нелинейные волны в средах с диссипацией. Уравнение Бюргерса. Точные решения уравнения Бюргерса. Преобразование Коула-Хопфа. Стационарная ударная волна. Взаимодействие ударных волн.
4. Солитоны. Джон Скот Рассел и открытие солитона. Уравнение Кортевега-де Вриза (КдВ). Парадокс Ферми-Паста-Улама. Взаимодействие солитонов и работа Забуски и Крускала. Метод обратной задачи рассеяния для уравнения КдВ. Многосолитонные решения.
5. Модулированные волны в нелинейных средах. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) и метод многих масштабов. Критерий Лайтхилла и модуляционная неустойчивость. Неустойчивость пространственно-однородного решения. Стационарные решения НУШ: «светлые» и «темные» солитоны. Трехволновое взаимодействие в квадратично-нелинейной среде.

### 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.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

## **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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-5:**

1. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.
2. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).
3. Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.
4. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
5. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
6. Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?
7. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
8. Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-6:**

1. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
2. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.

#### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
2. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
3. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:**

1. Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.
2. Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.
3. Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

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

1. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
2. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.
3. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
4. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
5. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

### 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	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	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	обучающегося от ответа			негрубых ошибок	несущественных ошибок		
<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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	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 УК-5**

1. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.
2. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).
3. Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.
4. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
5. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
6. Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?
7. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
8. Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-6**

1. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.
2. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).
3. Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.
4. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
5. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
6. Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?
7. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
8. Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.

#### **5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1**

1. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.
2. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).
3. Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.
4. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
5. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
6. Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?
7. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
8. Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.

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

1. Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.

2. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).
3. Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.
4. Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.
5. Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).
6. Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?
7. Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
8. Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.

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

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

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

1. Метод обратной задачи рассеяния для уравнения КдВ.
2. Метод многих масштабов
3. Применение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) в прикладных задачах
4. Прикладные аспекты уравнения Бюргерса.

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

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

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

## Основная литература:

1. Куликовский А. Г. Нелинейные волны в упругих средах. - М. : Московский лицей, 1998. - 412 с. - 39.00., 2 экз.
2. Куликовский Андрей Геннадьевич. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. - М. : Физматлит, 2001. - 608 с. - ISBN 5-9221-0194-3 : 65.00., 2 экз.
3. Багдоев Александр Георгиевич. Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. - М. : Физматлит, 2009. - 320 с. - (Механика). - ISBN 978-5-9221-1149-2 : 95.00., 1 экз.

## Дополнительная литература:

1. Порубов Алексей Викторович. Локализация нелинейных волн деформации : Асимптотические и численные методы исследования. - М. : Физматлит, 2009. - 208 с. - (Фундаментальная и прикладная физика). - Библиогр.: с. 192 - 207. - ISBN 978-5-9221-1074-7 : 60.00., 1 экз.
2. Труэлл Рон. Ультразвуковые методы в физике твердого тела : пер. с англ. / под ред. И. Г. Михайлова, В. В. Леманова. - М. : Мир, 1972. - 307 с. : ил. - 2.55., 2 экз.

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

Не требуются

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

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

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 ОС ННГУ по направлению подготовки 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Ерофеев Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.