

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г. протокол № 13

**Рабочая программа дисциплины
Нелинейные волновые процессы**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.04.03 Механика и математическое моделирование

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Информационное и программное обеспечение. Инженерия

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.12, Нелинейные волновые процессы</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

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**	
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.	Знать особенности разнообразия культур. Уметь анализировать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия. Владеть принципами и ограничениями межкультурного взаимодействия.	<i>Собеседование</i>
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки	УК-6.1. Знать принципы планирования и определения приоритетов собственной деятельности. УК-6.2. УК-6.3. Владеть способами совершенствования собственной деятельности на основе самооценки.	Знает принципы планирования и определения приоритетов собственной деятельности. Уметь реализовывать приоритеты собственной деятельности на основе планирования. Владеть способами совершенствования собственной деятельности на основе самооценки.	<i>Собеседование</i>
ОПК-1 Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	ОПК-1.1. Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук. ОПК-1.2. Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением	Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук. Умеет формулировать, анализировать и решать нелинейные волновые задачи с применением фундаментальных знаний	<i>Собеседование</i>

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**	
	фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук. ОПК-1.3. Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики.	математики, физики и других естественных наук. Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач нелинейных волновых процессов	
ОПК-2 Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	ОПК-2.1. Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования. 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. ОПК-2.3. Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и научной деятельности	Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования. Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения нелинейных волновых задач Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач нелинейных волновых процессов	<i>Собеседование</i>
ПК-3 Умеет самостоятельно разрабатывать, исследовать, применять математические модели для расчётов, проводить расчётно-экспериментальные работы и исследования, обработку и анализ результатов, оформление отчётной документации	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. ПК-3.2. Умеет самостоятельно проводить расчётно-экспериментальные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и	Знает классические модели механики, методы решения задач, современные программные комплексы для проведения расчётных исследований, методы проведения, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований. Умеет самостоятельно проводить расчётно-экспериментальные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований.	<i>Задания</i>

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**	
	анализировать результаты исследований. ПК-3.3. Имеет практический опыт применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований.	Имеет практический опыт применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований нелинейных волновых процессов.	

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 з.е.
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
			З.ЛеТ ²	ЗСеТ ³	З.ЛаТ ⁴	Всего	
1.	Основные модели эволюции нелинейных волн	8	2	2		4	4
2.	Простые волны (волны Римана)	12	2	2		4	8
3.	Нелинейные волны в средах с диссипацией. Уравнение Бюргерса	17	4	4		8	9
4.	Солитоны	17	4	4		8	9
5.	Модулированные волны в нелинейных средах	17	4	4		8	9
	Текущий контроль (КСР)	1				1	
	ИТОГО	72	16	16	0	33	39
¹ Самостоятельная работа обучающегося. ² Занятия лекционного типа. ³ Занятия семинарского типа. ⁴ Занятия лабораторного типа.							

Краткое 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.

Практические занятия (семинарские занятия) 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 (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: разработки, анализа и внедрения эффективных алгоритмов и специализированных программных комплексов.
- компетенций - УК-5; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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).

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)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *собеседования* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачёту*.

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

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

Оценка		Уровень подготовки
		«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

5.2.1. Контрольные вопросы

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
1.	Зная закон дисперсии определить фазовую и групповую скорости волны.	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
2.	Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
3.	Вывести формулу Рэлея, связывающую фазовую и групповую скорости.	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
4.	Исследовать модуляционную устойчивость волны, пользуясь критерием Лайтхилла.	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
5.	Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
6.	Может ли в среде сформироваться солитон, если дисперсионный фактор преобладает над нелинейным (а), если нелинейный фактор преобладает над дисперсионным (б) (ответ обосновать)?	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
7.	Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3
8.	Определить связь между амплитудной и фазовой модуляцией квазигармонической волны.	УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-3

5.2.2. Типовые задания для собеседования

Для оценки сформированности компетенции УК-6, ПК-3

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

Для оценки сформированности компетенции ОПК-1, ПК-3

- Зная нелинейное уравнение Шредингера, проанализировать волны огибающих.
- Описать эволюцию волны Римана, зная, что в начальный момент времени волна была: синусоидальной (а), куполообразной (б).

5. Определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).

Для оценки сформированности компетенции ОПК-2

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

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Куликовский А.Г., Свешникова Е.И. Нелинейные волны в упругих средах. М.: Московский лицей. 1998. 412 с. (4экз.)
2. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: Физматлит. 2012. 656 с. (4экз.)
3. Багдоев А.Г., Ерофеев В.И., Шекоян А.В. Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. М.: Физматлит. 2009. 320 с.
4. Рыскин Н.М., Трубецков Д.И. Нелинейные волны. М.: Физматлит. 2000. 272 с. (4экз.)
5. Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Солдатов И.Н. Волновые процессы в сплошных средах. Саратов: Изд-во РФЯЦ – ВНИИЭФ. 2012. 260 с. (1экз.)

б) дополнительная литература:

1. Порубов А.В. Локализация нелинейных волн деформации. М.: Физматлит. 2009. 208 с. (1экз.)
2. Труэл Р., Элбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. – М.: Мир, 1969. – 307 с. (1экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

Не требуются

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: 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 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

Автор(ы)

к.т.н., доцент Леонтьева А.В.

Заведующий кафедрой
теоретической,
компьютерной и

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

экспериментальной
механики

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики
от 30.11.2022 года, протокол № 3.