

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**

**Динамика ударного и взрывного нагружения**

(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 блока.

№ 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.13. Динамика ударного и взрывного нагружения</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**	
ОПК-1. Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	<b>ОПК-1.1. Знает</b> основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук. <b>ОПК-1.2. Умеет</b> формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук. <b>ОПК-1.3. Имеет практический опыт</b> постановки и решения актуальных задач математики и механики.	<b>Знает</b> классические модели механики, методы решения задач. <b>Умеет</b> самостоятельно проводить расчётно-экспериментальные исследования динамического деформирования и разрушения элементов конструкций, выбирать и применять современные программные комплексы, методы решения, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований. <b>Имеет практический опыт</b> применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований применительно к задачам оценки прочности динамически нагруженных конструкций.	<i>Собеседование, Задача (практическое задание)</i>
ОПК-2. Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в	<b>ОПК-2.1. Знает</b> основные положения, терминологию и методологию в области	<b>Знает</b> теоретические основы методов экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения конструкционных материалов. <b>Умеет</b> самостоятельно применять	<i>Собеседование, Задача (практическое задание)</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**	
научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	<p>математического и алгоритмического моделирования.</p> <p><b>ОПК-2.2. Умеет</b> осуществлять анализ и выбор методов решения задач профессиональной и научной деятельности на основе теоретических знаний в области математических и компьютерных наук.</p> <p><b>ОПК-2.3. Имеет практический</b> опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и научной деятельности</p>	<p>полученные знания для определения высокоскоростных прочностных и деформационных характеристик материалов, использовать эти данные при математическом моделировании процессов высокоскоростного деформирования и разрушения.</p> <p><b>Имеет практический опыт</b> решения задач динамического деформирования и разрушения элементов конструкций с использованием различных методов и подходов.</p>	

### 3. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 з.е.</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	
- занятия семинарского типа	
- занятия лабораторного типа	<b>32</b>
- текущий контроль (КСР)	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

### 3.1. Содержание дисциплины

Очная форма обучения							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них			Всего	
ЗЛеТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛаТ <sup>4</sup>					
1.	Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения	6		3		3	3
2.	Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов	6		3		3	3
3.	Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей	12		6		6	6
4.	Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов	12		5		5	7
5.	Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов	17		7		7	10
6.	Моделирование взрывных процессов	12		5		5	7
7.	Пользовательское программирование в ПП Ansys-AUTODYN	6		3		3	3
	Текущий контроль (КСР)	1					
	ИТОГО	72		32		32	39
<sup>1</sup> Самостоятельная работа обучающегося. <sup>2</sup> Занятия лекционного типа. <sup>3</sup> Занятия семинарского типа. <sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.							

#### Краткое содержание разделов и тем дисциплины

Содержание курса «Динамика ударного и взрывного нагружения» разбивается на следующие главы:

1. Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения
2. Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов
3. Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей
4. Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов
5. Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов
6. Моделирование взрывных процессов
7. Пользовательское программирование в ПП Ansys-AUTODYN

#### Программа курса «Динамика ударного и взрывного нагружения»

1. Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения
  - 1.1. Особенности поведения материалов при высоких скоростях деформирования

- 1.2. Обзор методов и средств экспериментального изучения быстропротекающих процессов
- 1.3. Математическая формулировка и использование метода Кольского
2. Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов
  - 2.1. Адиабатичность процесса высокоскоростного деформирования
  - 2.2. Влияние условий нагружения (скорость деформации, температура) на диаграмму деформирования материала
  - 2.3. Эмпирические определяющие соотношения
3. Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей
  - 3.1. Экспериментальное определение диаграмм деформирования для различных условий нагружения
  - 3.2. Формулировка и решения оптимизационной задачи для определения параметров эмпирических определяющих соотношений
4. Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов
  - 4.1. Пространственная дискретизация уравнений механики сплошной среды: метод конечных разностей и метод конечного элемента
  - 4.2. Явные и неявные схемы интегрирования уравнений по времени
5. Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов
  - 5.1. подход Лагранжа
  - 5.2. схема Эйлера
  - 5.3. метод ALE
  - 5.4. метод SPH
6. Моделирование взрывных процессов
  - 6.1. Методы и подходы оценки действия взрыва на конструкции и их элементы
  - 6.2. Математическая модель взрывчатого вещества
  - 6.3. Моделирование процесса детонации в взрывчатом веществе и формирования ударной воздушной волны
7. Пользовательское программирование в ПП Ansys-AUTODYN
  - 7.1. Создание пользовательского проекта ПП Ansys-AUTODYN и работа с ним (модификация, отладка, сборка)
  - 7.2. Подпрограммы AUTODYN доступные для пользователя
  - 7.3. Программирование собственных определяющих соотношений и критериев разрушения в ПП Ansys-AUTODYN

### **Практические занятия**

**Содержание практических занятий:** решение базовых задач по курсу лекций, закрепляющих теоретический материал и иллюстрирующих его применение к решению задач.

### **Перечень тем практических занятий**

- Метод Лагранжа
- Метод Эйлера
- Метод ALE
- Метод SPH
- Взрывное нагружение
- Идентификация динамической модели материала
- Программирование определяющего соотношения

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 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: решения задач динамического деформирования и разрушения элементов конструкций с использованием различных методов и подходов разработки, теоретические, численные и экспериментальные исследования явлений и процессов различной природы методами математического, компьютерного и экспериментального моделирования.
- компетенций - ОПК-1; ОПК-2.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (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 лабораторного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях лабораторного типа),
- решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного 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 задач (практических заданий) и промежуточной аттестации в форме практических заданий к зачету.

##### 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>
<b>плохо</b>	<b>не зачтено</b>	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
<b>неудовлетворительно</b>		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.
<b>удовлетворительно</b>	<b>зачтен</b>	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
			Выполнены все задания, но не в полном объеме.	недочетами
<b>хорошо</b>		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.
<b>очень хорошо</b>		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.
<b>отлично</b>		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.
<b>превосходно</b>		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 «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»

Оценка		Уровень подготовки
	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. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

- Моделирование ударного взаимодействия стального шарика и медного цилиндра (скорость соударения 650 м/с) с использованием метода Лагранжа, Эйлера, ALE, SPH.
- Моделирование пробития стакана, наполненного водой, стальным шариком с использованием метода Лагранжа, Эйлера, ALE, SPH.
- Моделирование взрывного метания осколка.

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

- Оснащение динамической модели упруго-пластического поведения меди на основе экспериментальных данных.
- Программирование пользовательской зависимости радиуса поверхности текучести от пластической деформации и скорости деформации.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др. Динамика удара. М.:Мир, 1985. (4 экз.)
2. Ansys Help 13. 2010 ППП Ansys v. 14.5 и выше

<http://www.cadfem-cis.ru/>

<https://www.facebook.com/cadfemcis>

<http://www.youtube.com/user/CADFEM>

<http://www.cae-club.ru/forum>

AUTODYN Release 13.0. User Subroutines Tutorial. 2010

### б) дополнительная литература:

1. Lindholm U.S. Review of dynamic testing techniques and material behaviour// Mech.Prop.High Rates Strain Proc. Conf., Oxford. 1974. P.3-21. (1 экз.)
2. Беляев В.И. и др. Высокоскоростная деформация металлов. - Минск: Наука и техника. 1976. (1 экз.)

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

ПП ANSYS-AUTODYN

ППП Ansys v. 14.5 и выше

<http://www.cadfem-cis.ru/>

<https://www.facebook.com/cadfemcis>

<http://www.youtube.com/user/CADFEM>

<http://www.cae-club.ru/forum>

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: персональные компьютеры, проектор, доска.



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 д.ф.-м.н., доцент А.Ю. Константинов  
Заведующий кафедрой ТКиЭМ, профессор Игумнов А.Л.

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