

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 Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Динамика ударного и взрывного нагружения

---

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

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.13 Динамика ударного и взрывного нагружения 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
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 фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики	ОПК-1.1: Знает классические модели механики, методы решения задач.  ОПК-1.2: Умеет 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.  ОПК-1.3: Имеет практический опыт применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований применительно к задачам оценки прочности динамически нагруженных конструкций.	Задачи	Зачёт: Практическое задание
ОПК-2: Способен разрабатывать и применять новые методы математического моделирования в научно-	ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования	ОПК-2.1: Знает теоретические основы методов экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения	Задачи	Зачёт: Практическое задание

исследовательской и опытно-конструкторской деятельности	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	конструкционных материалов.  ОПК-2.2: Умеет самостоятельно применять полученные знания для определения высокоскоростных прочностных и деформационных характеристик материалов, использовать эти данные при математическом моделировании процессов высокоскоростного деформирования и разрушения.  ОПК-2.3: Имеет практический опыт решения задач динамического деформирования и разрушения элементов конструкций с использованием различных методов и подходов.		
---	---	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<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>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>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	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем),	Самостоятельная работа

		часы из них			обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения	6		3	3	3
Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов	6		3	3	3
Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей	12		6	6	6
Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов	12		5	5	7
Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов	17		7	7	10
Моделирование взрывных процессов	12		5	5	7
Пользовательское программирование в ПП Ansys-AUTODYN	6		3	3	3
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

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. Моделирования 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

### **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 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).

### **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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

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

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

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

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

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 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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			полном объеме	объеме, но некоторые с недочетами	с недочетами	недочетам и, выполнены все задания в полном объеме	
<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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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 - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-1**

1. Моделирование ударного взаимодействия стального шарика и медного цилиндра (скорость соударения 650 м/с) с использованием метода Лагранжа, Эйлера, ALE, SPH.

2. Моделирование пробития стакана, наполненного водой, стальным шариком с использованием метода Лагранжа, Эйлера, ALE, SPH.

3. Моделирование взрывного метания осколка.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

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

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)**

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 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. Динамика удара / пер. с англ. под ред. С. С. Григоряна. - М. : Мир, 1985. - 295 с. : ил. - 2.90., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Динамика удара / пер. с англ. под ред. С. С. Григоряна. - М. : Мир, 1985. - 295 с. : ил. - 2.90., 2 экз.

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 (модуля)**



Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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 подготовки/специальности 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Константинов Александр Юрьевич, доктор физико-математических наук.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.