

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра «Теоретической и экспериментальной механики»**

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан ФТФ, член корр. РАН, д.ф-м.н.

 А.К. Чернышев

« 30 » июня 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Моделирование импульсных воздействий на материалы и конструкции**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	15.04.03 Прикладная механика
Наименование образовательной программы	Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры
Квалификация (степень) выпускника	магистр
Форма обучения	очная

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2023 г.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_/202\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КЭ	Форма(ы) контроля, экс./зач./ЗсО/	Интерактивные часы
<b>3</b>	32	3	108	-	32	-	76	КР	Зач	16
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>76</b>	<b>ЗсО</b>	<b>-</b>	<b>16</b>

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина «Моделирование импульсных воздействий на материалы и конструкции» обеспечивает не только нормативно-методическую базу освоения обучающимися профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 «Прикладная механика», с квалификацией выпускника магистр, но и высокую профессиональную конкурентоспособность выпускников и их востребованность для решения актуальных задач у потребностей регионального и Всероссийского рынка труда, с учетом перспектив его развития.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель курса «Моделирование импульсных воздействий на материалы и конструкции» - дать основные понятия о моделировании объектов и процессов, показать возможности математического моделирования динамических процессов удара и взрыва, научить студентов проводить самостоятельные расчёты характерных задач динамики высокоскоростного удара и взрыва с использованием аналитических моделей и современных методик численного моделирования

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Дисциплина «Моделирование импульсных воздействий на материалы и конструкции» относится к базовой части образовательной программы подготовки магистров по профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры» направления 15.04.03 «Прикладная механика».

Дисциплина «Моделирование импульсных воздействий на материалы и конструкции» опирается на следующие дисциплины: теоретическая механика, сопротивление материалов, термодинамика, взрывчатые вещества, теория упругости, физика взрыва, экспериментальная механика, основы физики прочности и механики разрушения, вычислительная механика, уравнения состояния вещества.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и математического анализа. Необходимо уметь работать с компьютером, иметь знания по САД программам.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Ожидается, что в результате освоения дисциплины студент приобретет следующие компетенции:

#### Профессиональные компетенции (ПК)

в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: <b>научно-исследовательский, включающий расчетно-экспериментальную деятельность</b>			
подготовка и проведение расчетно-экспериментальных исследований в области прикладной механики	физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики.	<b>ПК-1.1</b> способен к проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по тематике организаций ядерно-оружейного комплекса  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»	З-ПК-1.1 знать методы проведения исследований и разработок У-ПК-1.1 уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (патенты, научно-техническая документация) В-ПК-1.1 владеть навыками проведения анализа и теоретического обобщения научных данных в соответствии с задачами исследования
		<b>ПК-1.2</b> способен контролировать выполнение предусмотренных планом задания  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.008. Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»	З-ПК-1.2 знать установленный порядок организации, планирования и финансирования, проведения и внедрения научных исследований У-ПК-1.2 уметь применять актуальную нормативную документацию в соответствующей области знаний В-ПК-1.2 владеть навыками управления научными исследованиями и разработками
Тип задачи профессиональной деятельности: <b>проектно-конструкторский</b>			

<p>проектирование машин и конструкций на основе математического и компьютерного моделирования с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности, безопасности</p>	<p>Физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики.</p>	<p><b>ПК-1.3</b> способен обобщать результаты проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью выработки предложений по разработке и усовершенствованию ядерно-оружейных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «24.078. Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий»</p>	<p>З-ПК-1.3 знать метрологию, стандартизацию и сертификацию в атомной отрасли</p> <p>У-ПК-1.3 уметь использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщение, производить сравнительный анализ В-ПК-1.3 владеть навыками методами анализа и обобщения результатов выполненных научно-технических исследований и разработок</p>
---	---	--	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ\*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Максимальный балл (см. п. 5.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	
<b>Семестр 3</b>								
<b>Раздел 1.</b>								
1.1.	Тема 1.	1		2		5	УО, ДЗ	
1.2	Тема 2.	2		2		5	УО, ДЗ	
1.3	Тема 3.	3		2		5	УО, ДЗ	
1.4	Тема 4.	4		2		4	УО, ДЗ	5
<b>Раздел 2.</b>								
2.1	Тема 1.	5		2		5	УО, ДЗ	
2.2	Тема 2.	6		2		5	УО, ДЗ	
2.3	Тема 3.	7		2		5	УО, ДЗ	
2.4	Тема 4.	8		2		4	УО, ДЗ	5
Рубежный контроль		8					УО	10
<b>Раздел 3.</b>								
3.1	Тема 1.	9		2		5	УО, ДЗ	
3.2	Тема 2.	10		2		5	УО, ДЗ	
3.3	Тема 3.	11		2		5	УО, ДЗ	
3.4	Тема 4.	12		2		4	УО, ДЗ	5
<b>Раздел 4.</b>								
4.1	Тема 1.	13		2		5	УО, ДЗ	
4.2	Тема 2.	14		2		5	УО, ДЗ	
4.3	Тема 3.	15		2		5	УО, ДЗ	
4.4	Тема 4.	16		2		4	УО, ДЗ	5
Рубежный контроль		16					УО	10
Курсовая работа							ЗсО	10
Промежуточная аттестация						Зачет	-	45
Посещаемость								5
<b>Итого:</b>			-	32	-	76	-	100

\*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля: УО – устный опрос; ЗсО – зачет с оценкой

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
<b>3 семестр</b>		
<b>Раздел 1.</b>		
1.1.	Тема 1.	<p>Даются основные понятия о физическом и математическом моделировании, теории и критериях подобия и моделирования, типах математических моделей объектов и процессов, их классификации. Приводятся сведения о возрастающей роли математического моделирования в технике и в научных исследованиях.</p>
1.2	Тема 2.	
1.3	Тема 3.	
1.4	Тема 4.	
<b>Раздел 2.</b>		
2.1	Тема 1.	<p>Излагаются теоретические основы аналитического и численного моделирования задач динамики удара и взрыва в рамках представлений механики сплошной среды. Рассматриваются методы и примеры постановки задач, построения аналитических и численных математических моделей процессов высокоскоростного удара и взрыва.</p>
2.2	Тема 2.	
2.3	Тема 3.	
2.4	Тема 4.	
<b>Раздел 3.</b>		
3.1	Тема 1.	<p>Проводится ознакомление студентов с программными комплексами (ПК) «ЛОГОС» (блок «ЛЭГАК-ДК»), «MASTER» (методика SPH), позволяющими решать разнообразные задачи численного моделирования соударения объектов, развития детонации ВВ и воздействия продуктов взрыва на различные конструкции, обучение работе с этими комплексами на примерах конкретных задач (в процессе лекционных, лабораторных и самостоятельных занятий).</p>
3.2	Тема 2.	
3.3	Тема 3.	
3.4	Тема 4.	
<b>Раздел 4.</b>		
4.1	Тема 1.	<p>Дается обзор ряда других современных методик и программных комплексов, в том числе, коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач на ЭВМ и суперЭВМ.</p>
4.2	Тема 2.	
4.3	Тема 3.	
4.4	Тема 4.	

№	Примерные темы практических/семинарских занятий
1.	Основные понятия о физическом и математическом моделировании, теории и критериях подобия и моделирования, типах математических моделей объектов и процессов, их классификации. Сведения о возрастающей роли математического моделирования в технике и в научных исследованиях.
2.	Теоретические основы аналитического и численного моделирования задач динамики удара и взрыва в рамках представлений механики сплошной среды. Эйлера и Лагранжа - подходы к описанию движения сплошной среды. Примеры постановки задач, построения аналитических математических моделей процессов высокоскоростного удара и взрыва. Решение (исследование) некоторых задач методами теории подобия (задачи об ударе клина и конуса о воду, высокоскоростного соударения сферического сегмента с преградой).
3.	Применение аналитических моделей для решения ряда задач соударения ударников с различными преградами (грунт, вода, металлические преграды).
4.	Аналитическое моделирование в задачах взрыва.
5.	Постановка ряда задач численного моделирования процессов соударения твердых тел и взрыва. Основные модели и уравнения состояния материалов. Сеточные и бессеточные (SPH) методики численного моделирования. Примеры постановки задач.
6.	Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и блоке расчёта динамической прочности «ЛЭГАК-ДК», возможностях применения «ЛЭГАК-ДК» для численного моделирования задач удара и взрыва. Примеры постановки и решения задач.
7.	Основные сведения о программном комплексе «MASTER» и базовой методике расчёта SPH. Возможностях применения ПК «MASTER» для численного моделирования задач высокоскоростного удара и взрыва. Примеры постановки и решения задач.
8.	Обзор ряда других современных методик и программных комплексов, в том числе, коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач на ЭВМ и суперЭВМ

#### 4.3. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы студентов

1. Муйземнек А.Ю., Богач А.А. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA. Учебное пособие. Пенза. ИИЦ ПГУ, 2005.
2. Глушак Б.Л. Физика взрыва. Сборник задач и упражнений с решениями. Саров.. ФГУП «РФЯЦ- ВНИИЭФ», 2009
3. Документация на программный комплекс «ЛОГОС». Саров. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2012.
4. Руденко В.В. Документация на программный комплекс «MASTER Professional». 2009-2012..
5. Бухарев Ю.Н. Материалы лекций по курсу «Математическое моделирование динамических процессов удара и взрыва». 2012.
6. Методические рекомендации по оформлению курсовых работ

Самостоятельная работа направлена на закрепление и углубление полученных теоретических и практических знаний. Включает в себя:

- ✓ работу с предыдущим лекционным материалом;
- ✓ самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины;
- ✓ поиск и обзор литературы и электронных источников;

- ✓ чтение и изучение учебника и учебных пособий.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

### 5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
<b>Семестр 3</b>				
Раздел 1	Тема 1.	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 1
	Тема 2.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 2
	Тема 3.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 3
	Тема 4.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 4
Раздел 2	Тема 1.	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 5
	Тема 2.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 6
	Тема 3.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 7
	Тема 4.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 8
<b>Рубежный контроль</b>		ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО 8
Раздел 3	Тема 1.	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 9
	Тема 2.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 10
	Тема 3.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 11

	Тема 4.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 12
Раздел 4	Тема 1.	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 13
	Тема 2.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 14
	Тема 3.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 15
	Тема 4.		3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	УО; ДЗ 16
	<b>Рубежный контроль</b>		ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3
<b>Курсовая работа</b>	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	<b>ЗсО</b>	
<b>Промежуточная аттестация</b>	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	3-ПК-1.1; У-ПК-1.1; В-ПК-1.1 3-ПК-1.2; У-ПК-1.2; В-ПК-1.2 3-ПК-1.3; У-ПК-1.3; В-ПК-1.3	<b>Зачет</b>	

## 5.2. Примерные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 5.2.1. Оценочные средства для текущего контроля

#### 5.2.1.1. Примерные вопросы для устного опроса (УО)

1. Понятия о процессах удара и взрыва. Сведения о характерных процессах удара и взрыва в природе и технике.
2. Модели и моделирование. Физическое и математическое моделирование. Другие виды моделирования.
3. Математическая модель и математическое моделирование. Аналитическое и численное моделирование. Имитационное моделирование. Возрастающая роль математического моделирования в технике и научных исследованиях.
4. Основные требования к математическим моделям и их отработке. Понятия тестирования, верификации, валидации моделей (методик), программного обеспечения (ПО).
5. Основные физические величины и их размерности в системе СИ. Производные величины и их размерности.
6. Основные понятия теории подобия и размерностей. П – теорема теории подобия. Критерии подобия объектов, процессов.

7. Пример задачи, решаемой с помощью теории подобия: определение силы, действующей на конус при вертикальном ударе о воду.
8. Классификация ударов и соответствующие ей уровни характерных параметров (давлений, напряжений) в зависимости от скорости удара.
9. Понятия уравнения состояния (УРС), ударной адиабаты, изэнтропы. Примеры соответствующих аналитических зависимостей.
10. Линейное упругое УРС. УРС идеального газа.
11. УРС типа Ми-Грюнайзена, форма «Shock» этого УРС. УРС квазиакустического типа.
12. Аналитическое определение начальных параметров удара при столкновении двух пластин (удар по нормали к поверхности пластин).
13. Анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) в зоне соударения пластин. Условие текучести Мизеса. Связь между давлением, главными напряжениями и пределом текучести.
14. Аналитическое решение задачи определения основных параметров осесимметричного движения цилиндро-конического ударника при внедрении в мягкую преграду с заданной начальной скоростью. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad), (скорости (0,6 – 1,2) км/с,  $m_{0y} = (10 - 50)$  кг)).
15. Аналитическое моделирование взаимодействия составного ударника (двухмассового с упругой связью) с мягкой преградой. Уравнения движения; силы, действующие на массы ударника. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad).
16. Классическая гидродинамическая теория Лаврентьева М.А. проникания кумулятивной струи и стержня в преграду. Формулы для расчёта скорости и глубины проникания.
17. Модифицированная с учётом прочности теория Алексеевского-Тейта проникания стержневых ударников в преграды (осесимметричный случай, сравнение с теорией Лаврентьева). Влияние угла атаки стержня на процесс и глубину проникания.
18. Аналитическое решение задачи пластического деформирования металлического стержня (стержня Тейлора) при осесимметричном ударе о плоскую жёсткую преграду. Простейшая формула для определения динамического предела текучести по результатам соответствующего эксперимента.
19. Характерные опытные и расчётные данные по размерам кратеров в металлических преградах при воздействии на них компактных металлических ударников со скоростями до  $\approx 10$  км/с. Зависимость глубины кратера от кинетической энергии ударника.
20. Понятие предельно пробиваемой толщины преграды ( $h_{пр}$ ). Её зависимость от кинетической энергии компактного ударника и от угла соударения. Понятие угла рикошетирования ( $\alpha_p$ ). Примеры количественных данных по  $h_{пр}$ ,  $\alpha_p$  для дюралюминиевой преграды и стального сферического ударника.

21. Понятие детонации ВВ. Основные соотношения гидродинамической теории детонации, необходимые для получения аналитических решений ряда задач взрыва. Условие и точка Жуге. Прямая Михельсона.
22. Простейшее уравнение изэнтропы продуктов взрыва (ПВ). Связь между основными параметрами за фронтом детонационной волны (ДВ) при  $n = 3$ .
23. Примеры аналитических решений некоторых задач взрыва на основе гидродинамической теории детонации (распределение основных параметров за фронтом ДВ; взаимодействие плоской ДВ с преградой; кривая торможения, оценка давления «химического пика»).
24. Основные предпосылки для построения математических моделей удара и взрыва на основе механики сплошной среды (МСС). Эйлеров и лагранжевы подходы к описанию движения сплошной среды.
25. Состав основных уравнений (лагранжевых или эйлеровых) динамики сплошной среды и необходимость применения численных методов их решения с использованием ЭВМ и суперЭВМ.
26. Основные сведения о методах численного моделирования процессов удара и взрыва. Сеточные методы (Лагранжевы, эйлеровы, смешанные). Бессеточный метод SPH
27. Сущность и основные понятия вычислительных методов конечных разностей и конечных элементов.
28. Основные сведения о пре-постпроцессоре LS-PrePost. Основные этапы подготовки задач численного моделирования соударения ударников с преградами (на примере подготовки задач при выполнении лабораторных работ №№3 - 6).
29. Упруго-пластические модели поведения материала: идеальная, с линейным деформационным упрочнением (matplastic\_kinematic) и с учётом скоростного упрочнения в форме Купера-Саймондса. Гидродинамическая модель.
30. Модель сдвиговой прочности Джонсона-Кука (аналитическая и кусочно-линейная формы).
31. Основные типы критериев разрушения материалов посредством разрыва и сдвига, используемые в задачах численного моделирования удара и взрыва, в том числе, в ПК «ЛОГОС – прочность».
32. Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и модуле расчёта задач динамической прочности «ЛОГОС – прочность». Основные типы расчётных методов (решателей) и конечных элементов, используемых для численного моделирования динамических задач в модуле «ЛОГОС-прочность».
33. Обсуждение постановки и результатов численного 3D моделирования задачи соударения сферического стального ударника с алюминиевой пластиной (скорости удара (0,7 – 1,4) км/с).

34. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения стержня Тейлора с жёсткой пластиной (скорости (185-350) м/с).
35. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» детонации цилиндрического заряда ВВ и разгона алюминиевого диска (лагранжевая постановка).
36. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения модели пули калибра 7,62 мм со стальной пластиной со скоростью 750 м/с под углом  $\theta = 50^0, 20^0$  к поверхности пластины.
37. Сведения о ряде современных методик и программных комплексов, в том числе – коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное численное моделирование широкого круга задач удара и взрыва на ЭВМ и суперЭВМ.

#### **5.2.1.2. Примерные вопросы для домашнего задания (ДЗ)**

1. Понятия о процессах удара и взрыва. Сведения о характерных процессах удара и взрыва в природе и технике.
2. Модели и моделирование. Физическое и математическое моделирование. Другие виды моделирования.
3. Математическая модель и математическое моделирование. Аналитическое и численное моделирование. Имитационное моделирование. Возрастающая роль математического моделирования в технике и научных исследованиях.
4. Основные требования к математическим моделям и их отработке. Понятия тестирования, верификации, валидации моделей (методик), программного обеспечения (ПО).
5. Основные физические величины и их размерности в системе СИ. Производные величины и их размерности.
6. Основные понятия теории подобия и размерностей. П – теорема теории подобия. Критерии подобия объектов, процессов.
7. Пример задачи, решаемой с помощью теории подобия: определение силы, действующей на конус при вертикальном ударе о воду.
8. Классификация ударов и соответствующие ей уровни характерных параметров (давлений, напряжений) в зависимости от скорости удара.
9. Понятия уравнения состояния (УРС), ударной адиабаты, изэнтропы. Примеры соответствующих аналитических зависимостей.
10. Линейное упругое УРС. УРС идеального газа.
11. УРС типа Ми-Грюнайзена, форма «Shock» этого УРС. УРС квазиакустического типа.
12. Аналитическое определение начальных параметров удара при столкновении двух пластин (удар по нормали к поверхности пластин).

13. Анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) в зоне соударения пластин. Условие текучести Мизеса. Связь между давлением, главными напряжениями и пределом текучести.
14. Аналитическое решение задачи определения основных параметров осесимметричного движения цилиндро-конического ударника при внедрении в мягкую преграду с заданной начальной скоростью. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad), (скорости (0,6 – 1,2) км/с,  $m_{0y} = (10 - 50)$  кг).
15. Аналитическое моделирование взаимодействия составного ударника (двухмассового с упругой связью) с мягкой преградой. Уравнения движения; силы, действующие на массы ударника. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad).
16. Классическая гидродинамическая теория Лаврентьева М.А. проникания кумулятивной струи и стержня в преграду. Формулы для расчёта скорости и глубины проникания.
17. Модифицированная с учётом прочности теория Алексеевского-Тейта проникания стержневых ударников в преграды (осесимметричный случай, сравнение с теорией Лаврентьева). Влияние угла атаки стержня на процесс и глубину проникания.
18. Аналитическое решение задачи пластического деформирования металлического стержня (стержня Тейлора) при осесимметричном ударе о плоскую жёсткую преграду. Простейшая формула для определения динамического пределы текучести по результатам соответствующего эксперимента.
19. Характерные опытные и расчётные данные по размерам кратеров в металлических преградах при воздействии на них компактных металлических ударников со скоростями до  $\approx 10$  км/с. Зависимость глубины кратера от кинетической энергии ударника.
20. Понятие предельно пробиваемой толщины преграды ( $h_{пр}$ ). Её зависимость от кинетической энергии компактного ударника и от угла соударения. Понятие угла рикошетирувания ( $\alpha_r$ ). Примеры количественных данных по  $h_{пр}$ ,  $\alpha_r$  для дюралюминиевой преграды и стального сферического ударника.
21. Понятие детонации ВВ. Основные соотношения гидродинамической теории детонации, необходимые для получения аналитических решений ряда задач взрыва. Условие и точка Жуге. Прямая Михельсона.
22. Простейшее уравнение изэнтропы продуктов взрыва (ПВ). Связь между основными параметрами за фронтом детонационной волны (ДВ) при  $n = 3$ .
23. Примеры аналитических решений некоторых задач взрыва на основе гидродинамической теории детонации (распределение основных параметров за фронтом ДВ; взаимодействие плоской ДВ с преградой; кривая торможения, оценка давления «химического пика»).

24. Основные предпосылки для построения математических моделей удара и взрыва на основе механики сплошной среды (МСС). Эйлеров и лагранжевы подходы к описанию движения сплошной среды.
25. Состав основных уравнений (лагранжевых или эйлеровых) динамики сплошной среды и необходимость применения численных методов их решения с использованием ЭВМ и суперЭВМ.
26. Основные сведения о методах численного моделирования процессов удара и взрыва. Сеточные методы (Лагранжевы, эйлеровы, смешанные). Бессеточный метод SPH
27. Сущность и основные понятия вычислительных методов конечных разностей и конечных элементов.
28. Основные сведения о пре-постпроцессоре LS-PrePost. Основные этапы подготовки задач численного моделирования соударения ударников с преградами (на примере подготовки задач при выполнении лабораторных работ №№3 - 6).
29. Упруго-пластические модели поведения материала: идеальная, с линейным деформационным упрочнением (matplastic\_kinematic) и с учётом скоростного упрочнения в форме Купера-Саймондса. Гидродинамическая модель.
30. Модель сдвиговой прочности Джонсона-Кука (аналитическая и кусочно-линейная формы).
31. Основные типы критериев разрушения материалов посредством разрыва и сдвига, используемые в задачах численного моделирования удара и взрыва, в том числе, в ПК «ЛОГОС – прочность».
32. Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и модуле расчёта задач динамической прочности «ЛОГОС – прочность». Основные типы расчётных методов (решателей) и конечных элементов, используемых для численного моделирования динамических задач в модуле «ЛОГОС-прочность».
33. Обсуждение постановки и результатов численного 3D моделирования задачи соударения сферического стального ударника с алюминиевой пластиной (скорости удара (0,7 – 1,4) км/с).
34. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения стержня Тейлора с жёсткой пластиной (скорости (185-350) м/с).
35. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» детонации цилиндрического заряда ВВ и разгона алюминиевого диска (лагранжевая постановка).
36. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения модели пули калибра 7,62 мм со стальной пластиной со скоростью 750 м/с под углом  $\theta = 50^{\circ}, 20^{\circ}$  к поверхности пластины.

37. Сведения о ряде современных методик и программных комплексов, в том числе – коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное численное моделирование широкого круга задач удара и взрыва на ЭВМ и суперЭВМ.

## **5.2.2 Оценочные средства для рубежного контроля**

### **5.2.2.1 Примерные вопросы для устного опроса (УО)**

1. Понятия о процессах удара и взрыва. Сведения о характерных процессах удара и взрыва в природе и технике.
2. Модели и моделирование. Физическое и математическое моделирование. Другие виды моделирования.
3. Математическая модель и математическое моделирование. Аналитическое и численное моделирование. Имитационное моделирование. Возрастающая роль математического моделирования в технике и научных исследованиях.
4. Основные требования к математическим моделям и их отработке. Понятия тестирования, верификации, валидации моделей (методик), программного обеспечения (ПО).
5. Основные физические величины и их размерности в системе СИ. Производные величины и их размерности.
6. Основные понятия теории подобия и размерностей. П – теорема теории подобия. Критерии подобия объектов, процессов.
7. Пример задачи, решаемой с помощью теории подобия: определение силы, действующей на конус при вертикальном ударе о воду.
8. Классификация ударов и соответствующие ей уровни характерных параметров (давлений, напряжений) в зависимости от скорости удара.
9. Понятия уравнения состояния (УРС), ударной адиабаты, изэнтропы. Примеры соответствующих аналитических зависимостей.
10. Линейное упругое УРС. УРС идеального газа.
11. УРС типа Ми-Грюнайзена, форма «Shock» этого УРС. УРС квазиакустического типа.
12. Аналитическое определение начальных параметров удара при столкновении двух пластин (удар по нормали к поверхности пластин).
13. Анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) в зоне соударения пластин. Условие текучести Мизеса. Связь между давлением, главными напряжениями и пределом текучести.
14. Аналитическое решение задачи определения основных параметров осесимметричного движения цилиндро-конического ударника при внедрении в мягкую преграду с заданной

начальной скоростью Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad), (скорости (0,6 – 1,2) км/с,  $m_{0y} = (10 - 50)$  кг)).

15. Аналитическое моделирование взаимодействия составного ударника (двухмассового с упругой связью) с мягкой преградой. Уравнения движения; силы, действующие на массы ударника. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad).
16. Классическая гидродинамическая теория Лаврентьева М.А. проникания кумулятивной струи и стержня в преграду. Формулы для расчёта скорости и глубины проникания.
17. Модифицированная с учётом прочности теория Алексеевского-Тейта проникания стержневых ударников в преграды (осесимметричный случай, сравнение с теорией Лаврентьева). Влияние угла атаки стержня на процесс и глубину проникания.
18. Аналитическое решение задачи пластического деформирования металлического стержня (стержня Тейлора) при осесимметричном ударе о плоскую жёсткую преграду. Простейшая формула для определения динамического пределы текучести по результатам соответствующего эксперимента.
19. Характерные опытные и расчётные данные по размерам кратеров в металлических преградах при воздействии на них компактных металлических ударников со скоростями до  $\approx 10$  км/с. Зависимость глубины кратера от кинетической энергии ударника.
20. Понятие предельно пробиваемой толщины преграды ( $h_{пр}$ ). Её зависимость от кинетической энергии компактного ударника и от угла соударения. Понятие угла рикошетирования ( $\alpha_p$ ). Примеры количественных данных по  $h_{пр}$ ,  $\alpha_p$  для дюралюминиевой преграды и стального сферического ударника.
21. Понятие детонации ВВ. Основные соотношения гидродинамической теории детонации, необходимые для получения аналитических решений ряда задач взрыва. Условие и точка Жуге. Прямая Михельсона.
22. Простейшее уравнение изэнтропы продуктов взрыва (ПВ). Связь между основными параметрами за фронтом детонационной волны (ДВ) при  $n = 3$ .
23. Примеры аналитических решений некоторых задач взрыва на основе гидродинамической теории детонации (распределение основных параметров за фронтом ДВ; взаимодействие плоской ДВ с преградой; кривая торможения, оценка давления «химического пика»).
24. Основные предпосылки для построения математических моделей удара и взрыва на основе механики сплошной среды (МСС). Эйлеров и лагранжевы подходы к описанию движения сплошной среды.
25. Состав основных уравнений (лагранжевых или эйлеровых) динамики сплошной среды и необходимость применения численных методов их решения с использованием ЭВМ и суперЭВМ.

26. Основные сведения о методах численного моделирования процессов удара и взрыва. Сеточные методы (Лагранжевы, эйлеровы, смешанные). Бессеточный метод SPH
27. Сущность и основные понятия вычислительных методов конечных разностей и конечных элементов.
28. Основные сведения о пре-постпроцессоре LS-PrePost. Основные этапы подготовки задач численного моделирования соударения ударников с преградами (на примере подготовки задач при выполнении лабораторных работ №№3 - 6).
29. Упруго-пластические модели поведения материала: идеальная, с линейным деформационным упрочнением (matplastic\_kinematic) и с учётом скоростного упрочнения в форме Купера-Саймондса. Гидродинамическая модель.
30. Модель сдвиговой прочности Джонсона-Кука (аналитическая и кусочно-линейная формы).
31. Основные типы критериев разрушения материалов посредством разрыва и сдвига, используемые в задачах численного моделирования удара и взрыва, в том числе, в ПК «ЛОГОС – прочность».
32. Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и модуле расчёта задач динамической прочности «ЛОГОС – прочность». Основные типы расчётных методов (решателей) и конечных элементов, используемых для численного моделирования динамических задач в модуле «ЛОГОС-прочность».
33. Обсуждение постановки и результатов численного 3D моделирования задачи соударения сферического стального ударника с алюминиевой пластиной (скорости удара (0,7 – 1,4) км/с).
34. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения стержня Тейлора с жёсткой пластиной (скорости (185-350) м/с).
35. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» детонации цилиндрического заряда ВВ и разгона алюминиевого диска (лагранжевая постановка).
36. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения модели пули калибра 7,62 мм со стальной пластиной со скоростью 750 м/с под углом  $\theta = 50^0, 20^0$  к поверхности пластины.
37. Сведения о ряде современных методик и программных комплексов, в том числе – коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное численное моделирование широкого круга задач удара и взрыва на ЭВМ и суперЭВМ.

### **5.2.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации**

#### **5.2.3.1 Примерные вопросы к зачету**

1. Понятия о процессах удара и взрыва. Сведения о характерных процессах удара и взрыва в природе и технике.
2. Модели и моделирование. Физическое и математическое моделирование. Другие виды моделирования.
3. Математическая модель и математическое моделирование. Аналитическое и численное моделирование. Имитационное моделирование. Возрастающая роль математического моделирования в технике и научных исследованиях.
4. Основные требования к математическим моделям и их отработке. Понятия тестирования, верификации, валидации моделей (методик), программного обеспечения (ПО).
5. Основные физические величины и их размерности в системе СИ. Производные величины и их размерности.
6. Основные понятия теории подобия и размерностей. П – теорема теории подобия. Критерии подобия объектов, процессов.
7. Пример задачи, решаемой с помощью теории подобия: определение силы, действующей на конус при вертикальном ударе о воду.
8. Классификация ударов и соответствующие ей уровни характерных параметров (давлений, напряжений) в зависимости от скорости удара.
9. Понятия уравнения состояния (УРС), ударной адиабаты, изэнтропы. Примеры соответствующих аналитических зависимостей.
10. Линейное упругое УРС. УРС идеального газа.
11. УРС типа Ми-Грюнаизена, форма «Shock» этого УРС. УРС квазиакустического типа.
12. Аналитическое определение начальных параметров удара при столкновении двух пластин (удар по нормали к поверхности пластин).
13. Анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) в зоне соударения пластин. Условие текучести Мизеса. Связь между давлением, главными напряжениями и пределом текучести.
14. Аналитическое решение задачи определения основных параметров осесимметричного движения цилиндро-конического ударника при внедрении в мягкую преграду с заданной начальной скоростью. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad), (скорости (0,6 – 1,2) км/с,  $m_{0y} = (10 - 50)$  кг).
15. Аналитическое моделирование взаимодействия составного ударника (двухмассового с упругой связью) с мягкой преградой. Уравнения движения; силы, действующие на массы ударника. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad).
16. Классическая гидродинамическая теория Лаврентьева М.А. проникания кумулятивной струи и стержня в преграду. Формулы для расчёта скорости и глубины проникания.

17. Модифицированная с учётом прочности теория Алексеевского-Тейта проникания стержневых ударников в преграды (осесимметричный случай, сравнение с теорией Лаврентьева). Влияние угла атаки стержня на процесс и глубину проникания.
18. Аналитическое решение задачи пластического деформирования металлического стержня (стержня Тейлора) при осесимметричном ударе о плоскую жёсткую преграду. Простейшая формула для определения динамического предела текучести по результатам соответствующего эксперимента.
19. Характерные опытные и расчётные данные по размерам кратеров в металлических преградах при воздействии на них компактных металлических ударников со скоростями до  $\approx 10$  км/с. Зависимость глубины кратера от кинетической энергии ударника.
20. Понятие предельно пробиваемой толщины преграды ( $h_{пр}$ ). Её зависимость от кинетической энергии компактного ударника и от угла соударения. Понятие угла рикошетирования ( $\alpha_p$ ). Примеры количественных данных по  $h_{пр}$ ,  $\alpha_p$  для дюралюминиевой преграды и стального сферического ударника.
21. Понятие детонации ВВ. Основные соотношения гидродинамической теории детонации, необходимые для получения аналитических решений ряда задач взрыва. Условие и точка Жуге. Прямая Михельсона.
22. Простейшее уравнение изэнтропы продуктов взрыва (ПВ). Связь между основными параметрами за фронтом детонационной волны (ДВ) при  $n = 3$ .
23. Примеры аналитических решений некоторых задач взрыва на основе гидродинамической теории детонации (распределение основных параметров за фронтом ДВ; взаимодействие плоской ДВ с преградой; кривая торможения, оценка давления «химического пика»).
24. Основные предпосылки для построения математических моделей удара и взрыва на основе механики сплошной среды (МСС). Эйлеров и лагранжевы подходы к описанию движения сплошной среды.
25. Состав основных уравнений (лагранжевых или эйлеровых) динамики сплошной среды и необходимость применения численных методов их решения с использованием ЭВМ и суперЭВМ.
26. Основные сведения о методах численного моделирования процессов удара и взрыва. Сеточные методы (Лагранжевы, эйлеровы, смешанные). Бессеточный метод SPH
27. Сущность и основные понятия вычислительных методов конечных разностей и конечных элементов.
28. Основные сведения о пре-постпроцессоре LS-PrePost. Основные этапы подготовки задач численного моделирования соударения ударников с преградами (на примере подготовки задач при выполнении лабораторных работ №№3 - 6).

29. Упруго-пластические модели поведения материала: идеальная, с линейным деформационным упрочнением (matplastic\_kinematic) и с учётом скоростного упрочнения в форме Купера-Саймондса. Гидродинамическая модель.
30. Модель сдвиговой прочности Джонсона-Кука (аналитическая и кусочно-линейная формы).
31. Основные типы критериев разрушения материалов посредством разрыва и сдвига, используемые в задачах численного моделирования удара и взрыва, в том числе, в ПК «ЛОГОС – прочность».
32. Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и модуле расчёта задач динамической прочности «ЛОГОС – прочность». Основные типы расчётных методов (решателей) и конечных элементов, используемых для численного моделирования динамических задач в модуле «ЛОГОС-прочность».
33. Обсуждение постановки и результатов численного 3D моделирования задачи соударения сферического стального ударника с алюминиевой пластиной (скорости удара (0,7 – 1,4) км/с).
34. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения стержня Тейлора с жёсткой пластиной (скорости (185-350) м/с).
35. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» детонации цилиндрического заряда ВВ и разгона алюминиевого диска (лагранжевая постановка).
36. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения модели пули калибра 7,62 мм со стальной пластиной со скоростью 750 м/с под углом  $\theta = 50^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  к поверхности пластины.
37. Сведения о ряде современных методик и программных комплексов, в том числе – коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное численное моделирование широкого круга задач удара и взрыва на ЭВМ и супер ЭВМ.

#### **5.2.4. Примерные темы курсовой работы**

1. Ударные адиабаты металлов. Построение УРС в форме Ми-Грюнайзена.
2. Упругий предел Гюгонио. Определение динамических характеристик по зависимости скорости движения свободной поверхности.
3. Затухание упругого предвестника. Анализ экспериментально-расчетного исследования.
4. Откольное разрушение. Теория. Результаты экспериментов.
5. Влияние внешних факторов на величину откольной прочности.
6. Экспериментальные методы исследования прочностных свойств материалов при динамических нагрузках. Нагружающие устройства и методики регистрации.

7. Расчеты движения ударной волны в упруго-пластической среде на одном из производственных расчетных комплексов ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ».
8. Расчет разрушения металлического образца при высокоскоростном ударном нагружении.

### 5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится

			студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	---

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва. Наука. Физматлит, 1972.
2. В.С. Зарубин. Математическое моделирование в технике. Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
3. Муйземнек А.Ю., Богач А.А. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA. Учебное пособие. Пенза. ИИЦ ПГУ, 2005.
4. Прикладные задачи высокоскоростного удара. Сборник научных статей/ Под ред. д-на, проф. Ю.Н. Бухарева. Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
5. Глушак Б.Л. Начала физики взрыва. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
6. Забабахин Е.И. Некоторые вопросы газодинамики взрыва.. Снежинск. РФЯЦ-ВНИИТФ, 1997.
7. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. Москва. Наука, 1975.
8. Высокоскоростные ударные явления. Пер. с англ. Москва. МИР, 1971.
9. Динамика удара. Пер. с англ. Москва. МИР, 1985.
10. Глушак Б.Л. Физика взрыва. Сборник задач и упражнений с решениями. Саров.. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2009
11. Документация на программный комплекс «ЛОГОС». Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2012.
12. Руденко В.В. Документация на программный комплекс «MASTER Professional». 2009-2012..
13. Бухарев Ю.Н. Материалы лекций по курсу «Математическое моделирование динамических процессов удара и взрыва». 2012.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М:Физматгиз. 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Том I, II/ Москва. Наука, 1976, 1978.
3. Копышев В.П. Теория уравнений состояния. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2009.
4. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2006.
5. Алабужев П.М., Геронимус В.Б., Минкевич Л.М, Шеховцов Б.А. Теории подобия и размерностей. Моделирование. Москва. Высшая школа, 1968.

6. Глушак Б.Л., Куропатенко В.Ф.,Новиков С.А. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках. РАН СО Новосибирск.. Наука, 1992.
7. Рахматклин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. Москва. Физматлит, 1961
8. Методические рекомендации по оформлению курсовых работ

#### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

1. Лицензионное программное обеспечение для учебных компьютеров и интернет-ресурсы: Windows XP PRO (или Windows 7);
2. ПК «ЛОГОС», ПК «MASTER»\*;
3. Другие ресурсы, входящие в состав УМК кафедры ТиЭМ.

\*Вместо ПК «ЛОГОС», «MASTER» весьма эффективным явилось бы применение ПК «ANSYS» с компонентами «LS-DYNA», «AUTODYN», «SPH».

#### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

1. [www.ispms.ru](http://www.ispms.ru)
2. [www/dymat.org](http://www/dymat.org)
3. [www.ispms.ru](http://www.ispms.ru)
4. [www.Sibran/journals/FGV](http://www.Sibran/journals/FGV)
5. <http://proceedings.aip.org>

### **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для освоения дисциплины необходимо наличие:

- ✓ аудитории, снабженной компьютерным проектором,
- ✓ учебной аудиторией (классом) для проведения практических работ, оснащённой современными компьютерами с необходимым программным обеспечением для аналитического и численного моделирования, в том числе - с установленными программными комплексами «ЛОГОС» , «MASTER»;
- ✓ компактной супер ЭВМ терафлопного класса (типа АПК-М5) с установленным программным обеспечением.

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 «Прикладная механика» реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины «Методы и средства изучения импульсных воздействий на материалы и конструкции» используются следующие образовательные технологии:

- ✓ использование мультимедийного оборудования при проведении занятий;
- ✓ получение студентом необходимой учебной информации под руководством преподавателя и самостоятельно.
- ✓ проблемные лекции;
- ✓ «работа в команде» - совместная деятельность под руководством лидера, направленная на решение общей поставленной задачи;
- ✓ «междисциплинарное обучение» - использование знаний из разных областей, группируемых и концентрируемых в контексте конкретно решаемой задачи;
- ✓ контекстное обучение;
- ✓ обучение на основе опыта;
- ✓ разбор конкретных постановок экспериментов с поэтапным анализом процесса и обсуждением конечного результата;
- ✓ психологический тренинг с целью безопасного обращения с ВВ, токсичными и радиоактивными материалами;
- ✓ междисциплинарное обучение.
- ✓ консультации;
- ✓ «индивидуальное обучение» - выстраивание для студента собственной образовательной траектории с учетом интереса и предпочтения студента;
- ✓ опережающая самостоятельная работа - изучение студентами нового материала до его изложения преподавателем на лекции и других аудиторных занятиях;
- ✓ встречи с научными сотрудниками ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», занимающимися экспериментами в области физикой прочности;
- ✓ участие в Харитоновских Чтениях ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и других конференциях;
- ✓ подготовка к олимпиадам и к докладам на студенческих конференциях.

По дисциплине «Моделирование импульсных воздействий на материалы и конструкции» в рабочем учебном плане предусмотрены интерактивные часы для проведения практических

занятий. Для реализации интерактивных форм обучения используются учебно-методические материалы, разработанные сотрудниками кафедры «Теоретической и экспериментальной механики».

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. В конце семестра предусмотрен зачет. Также рабочим учебным планом предусмотрена курсовая работа.

При преподавании дисциплины методически целесообразно в каждом разделе курса выделить наиболее важные моменты и акцентировать на них внимание обучаемых. Такие моменты отражены в изложенных выше пунктах, касающихся формируемых знаний студентов и их проверки.

При проведении практических занятий студентам прививаются также навыки работы с научной и учебно-методической литературой.

Обязательным является самостоятельная работа студентов дома и в аудитории под руководством преподавателя, выполнение индивидуальных заданий, посещение международных и всероссийских конференций.

Для успешного освоения дисциплины необходимо активизировать полученные студентом знания по указанным дисциплинам, умение работать с компьютером.

Проработку материала рекомендуется проводить после завершения определённой темы, что даёт возможность составить более целостную картину изучаемой проблемы.

Не следует стремиться к механическому запоминанию формулировок, положений, формул. Для понимания материала эффективным является активная самостоятельная работа при выполнении лабораторных работ, домашних заданий, изучении лекционных материалов. Это нужно не преподавателю, а прежде всего – самому студенту для формирования прочных знаний и их практического применения в жизни.

Необходимо отметить особенности материала данного курса, указать, с основами каких предметов должен быть знаком студент к моменту изучения данной дисциплины, какими основными понятиями, методами и представлениями должен владеть студент, начиная изучение данной дисциплины.

Так как учебным планом предусмотрены практические занятия и домашние задания, целесообразно акцентировать внимание студентов на необходимости дальнейшего использования полученных знаний при выполнении работ на производственной практике и дипломной работы.

С программой домашних заданий студенты должны быть ознакомлены на начальной стадии курса, поскольку они способствуют усвоению программы курса.

При организации самостоятельной работы студентов следует указать им на наличие в сети Интернет полного описания всех ГОС и многих рабочих программ учебных дисциплин, находящихся в «страничках» Российского образовательного портала ([www.education.ru](http://www.education.ru)).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению подготовки 15.04.03 «Прикладная механика».

**Программу составил:** доцент кафедры ТиЭМ, к.ф-м.н.

И.Р. Трунин

**Рецензент:** доцент кафедры ТиЭМ, к.ф-м.н., доцент

Ю.В. Батьков