

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**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Основы физики прочности и механики разрушения**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	15.03.03 Прикладная механика
Наименование образовательной программы	Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры
Квалификация (степень) выпускника	бакалавр
Форма обучения	очная

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТиЭМ,

д.т.н., доцент

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_ **А.Л. Михайлов**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022 г.**

г. Саров, 2022 г.

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

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

А.Л. Михайлов

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

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

А.Л. Михайлов

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

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

А.Л. Михайлов

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

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

А.Л. Михайлов

<b>Семестр</b>	<b>В форме практической подготовки</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КР/КП</b>	<b>Форма(ы) контроля, экс./защ./ЗсО/</b>	<b>Интерактивные часы</b>
<b>7</b>	32	4	144	16	16	16	60	-	Э	10
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>10</b>

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина «Основы физики прочности и механики разрушения» обеспечивает не только нормативно-методическую базу освоения обучающимися профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», с квалификацией выпускника бакалавр, но и высокую профессиональную конкурентоспособность выпускников и их востребованность для решения актуальных задач и потребностей регионального и Всероссийского рынка труда, с учетом перспектив его развития.

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

Целями освоения учебной дисциплины «Основы физики прочности и механики разрушения» являются приобретение бакалавром знания, умения и навыков, обеспечивающих достижение целей основной образовательной программы «Прикладная механика».

Дисциплина нацелена на подготовку бакалавров:

- ✓ способных к проведению научных экспериментов, выполнению теоретических и расчетно-экспериментальных работ, решению задач прикладной механики - задач динамики, прочности, устойчивости, долговечности, ресурса, живучести, надежности и безопасности конструкций, композитных структур, сооружений, установок, агрегатов, оборудования, приборов и аппаратуры и их элементов;
- ✓ готовых к применению информационных технологий, современных систем компьютерной математики, технологий конечно-элементного анализа, наукоемких компьютерных технологий программных систем компьютерного проектирования систем автоматизированного проектирования, программных систем инженерного анализа и компьютерного инжиниринга;
- ✓ способных к самообучению и постоянному профессиональному самосовершенствованию;
- ✓ готовых к управлению проектами, маркетингом; организации работы научных и производственных подразделений, занимающихся разработкой и проектированием новой техники и технологий.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

*Индекс дисциплины: Б1.В.11*

Дисциплина относится к углубленной части профессионального модуля учебной программы по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика.

Для освоения дисциплины от студентов требуется знания по дисциплинам естественнонаучного и математического цикла «Физика» и «Математика». Студенты должны знать основы высшей математики, физики, теоретической механики, сопротивления материалов, инженерной и компьютерной графики, информационных технологий, экологии.

Необходимо также знать основы автоматизированного проектирования, аналитическую динамику и теорию колебаний, теорию упругости, основы механики жидкости и газа, основы физики твердого тела, материаловедение, вычислительную механику, детали машин и основы конструирования.

Параллельное изучение дисциплин обеспечит лучшее усвоение материала, в том числе общего раздела «Механические свойства конструкционных материалов».

## 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:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
<b>Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>			

участие в составе научно-исследовательской группы в научно-исследовательских работах 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.	<p><b>ПК-1</b> Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»</p>	<p>3-ПК-1 Знать методы анализа научных данных</p> <p>У-ПК-1 Уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</p> <p>В-ПК-1 Владеть проведением анализа научных результатов экспериментов и наблюдений; осуществлением теоретического обобщения научных данных, результатов экспериментов и наблюдений</p>
		<p><b>ПК-2</b> Способен к осуществлению выполнения экспериментов и оформлению результатов исследований и разработок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»</p>	<p>3-ПК-2 Знать цели и задачи проводимых исследований разработок; методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации</p> <p>У-ПК-2 Уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; применять методы проведения экспериментов</p> <p>В-ПК-2 Владеть проведением наблюдений и измерений, составление их описаний и формулировка выводов; составление отчетов (разделов отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов</p>
<b>Тип задачи профессиональной деятельности:</b>			
<b>расчетно-экспериментальный с элементами научно-исследовательской деятельности</b>			
выполнение расчетно-экспериментальных работ в области прикладной механики с помощью	физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-	<p><b>ПК-3</b> Способен к определению расчетных характеристик материалов, применяемых при конструировании изделий</p>	<p>3-ПК-3 Знать основы теории проведения измерений при экспериментальных работах; основы материаловедения; физические и механические</p>

<p>экспериментально го оборудования для проведения механических испытаний</p>	<p>ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики.</p>	<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «32.004. Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций»</p>	<p>характеристики конструкционных материалов; основы теории устойчивости конструкций; основы механики разрушения; основы теории колебаний У-ПК-3 Уметь применять методики расчета на прочность различных типов конструкций; применять инструментарий: - пользоваться стандартным программным обеспечением при оформлении документации и инженерных расчетов; - пользоваться программным обеспечением для расчетов на прочность В-ПК-3 Владеть экспериментальное определение усталостных характеристик образцов материалов и элементов конструкции; обработка экспериментальных данных по результатам испытаний образцов; анализ результатов экспериментальных исследований</p>
---	---	---	--

Студенты должны участвовать во внедрении и сопровождении результатов научно-технических и проектно-конструкторских разработок в реальный сектор экономики. Участвовать в организации работы, направленной на формирование творческого характера деятельности небольших коллективов, работающих в области прикладной механики. Владеть культурой профессиональной безопасности, уметь идентифицировать опасности и оценивать риски в сфере своей профессиональной деятельности.

Студенты должны быть готовы применять профессиональные знания для минимизации негативных экологических последствий, обеспечения безопасности и улучшения условий труда в сфере своей профессиональной деятельности.

# 1. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет \_\_\_\_\_ кредитов, **144** часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел *
			Лекции <b>16</b>	Практ. занятия/ семинары <b>34</b>	Лаб. работы <b>18</b>			
<b>7 семестр</b>								
1	Строение и свойства различных состояний вещества.	1	<b>1</b>	<b>2</b>		Опрос	Коллоквиум	5
2	Кристаллические структуры. Типы связей. Дефекты в кристаллах.	2	<b>1</b>	<b>2</b>		Опрос	Контр. работа/ устный опрос	5
3	Теоретическая прочность периодических структур	2	<b>2</b>	<b>4</b>		Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
4	Реологические модели поведения материалов при деформировании и разрушении	2	<b>2</b>	<b>2</b>		Опрос	Контр. работа/ устный опрос	5
5	Механизмы носители уровни пластической деформации	1	<b>2</b>	<b>2</b>		Опрос	Контр. работа/ устный опрос	5
6	$\sigma$ - $\epsilon$ диаграммы в статике и динамике	3	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
7	Классические механические теории прочности	2	<b>4</b>	<b>2</b>		Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
8	Линейная механика разрушения. Теория Гриффитса и ее развитие в работах Ирвина и Орована.	2	<b>4</b>	<b>2</b>		Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
9	Методы определения характеристик сопротивления хрупкому и вязкому разрушению	2	<b>2</b>		<b>2</b>	Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
10	Интегральный подход к ЛМР	1	<b>2</b>	<b>2</b>		Опрос		5
11	Прочность материалов при ударно-волновом нагружении	3	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
12	Методы определения динамической прочности	2	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Самостоятельная работа	Контрольная работа	5
13	Расчетно-теоретическое описание динамической прочности	2	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	Самостоятельная работа	Контрольная работа	10
...	<b>Экзамен, КР ЗсО</b>							0 - 50
	<b>СРС – 40 час</b>							100





#### 4.1. Содержание разделов дисциплины.

В семестре проводятся лабораторные работы, посвященные изучению методов получения  $\sigma$ - $\varepsilon$  диаграммы деформирования материалов при скоростях деформации  $\dot{\varepsilon} \approx 10^1$ - $10^3$  с<sup>-1</sup> и исследованию их динамической прочности на сжатие и растяжение при ударно-волновом нагружении при  $\dot{\varepsilon} \approx 10^1$ - $10^6$  с<sup>-1</sup>

1. Получение  $\sigma$ - $\varepsilon$  диаграмм пористых материалов. Копровая установка (лабораторная работа №1).

**Цель работы:** изучение реологического поведения пористых материалов (пенопласты, керамики и т.п.) и построение  $\sigma$ - $\varepsilon$  диаграмм их деформирования.

2. Получение  $\sigma$ - $\varepsilon$  диаграмм сплошных материалов. Составной стержень Гопкинсона (лабораторная работа №2).

**Цель работы:** Исследование  $\sigma$ - $\varepsilon$  диаграмм конструкционных материалов (металлы, пластики и т.п.) и их зависимость от скорости деформации и температуры образца.

3. Исследование динамической прочности металлов с помощью регистрации профиля скорости свободной поверхности образца емкостным датчиком. Установка БУТ-76 (лабораторная работа №3).

**Цель работы:** Знакомство с методами создания ударно-волновых нагрузок и измерения профиля скорости свободной поверхности образца при выходе на нее ударной волны. Определение параметров прочности в упруго-пластическом материале по профилю скорости свободной поверхности.

4. Исследование влияния масштабного эффекта на прочность при ударно-волновом сжатии и растяжении материала образца с помощью лазерного интерферометра. Установка БУТ-76 (лабораторная работа №4).

**Цель работы:** Знакомство с методикой лазерного интерферометра для определения скорости свободной поверхности образца при выходе на нее ударной волны. Выяснение природы МЭ при разрушении.

Предусмотрены рефераты по следующим темам:

- Механические свойства материалов при статических и динамических нагрузках.
- Методы регистрации динамической прочности конструкционных материалов.
- Сжатие пористых и упругопластических веществ.
- Определение скорости звука в ударно сжатых материалах.

#### **Самостоятельная работа студентов (курсовая работа):**

Тема курсовой работы конкретного студента определяется темой его дипломной работы и выполняется под руководством преподавателя.

## 2. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках учебной программы запланировано лекционные занятия с использованием различных видов демонстрационной подачи учебного материала (компьютер, типичные образцы натуральных размеров, кино- видео-материалы и др.). Предусмотрен разбор конкретных постановок экспериментов с поэтапным анализом процесса и обсуждением конечного результата. Запланирован психологический тренинг с целью безопасного обращения с ВВ, токсичными и радиоактивными материалами. Предусмотрены встречи с представителями российских и зарубежных компаний, участие в Харитоновских Научных Чтениях и других конференциях

## 3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

**Формы контроля:** промежуточный – 2 контрольные работы, курсовая работа, итоговый – экзамен.

### Контрольные вопросы:

1. Физические представления о строении твердых тел.
2. Межатомные силы взаимодействия.
3. Потенциалы взаимодействия частиц.
4. Потенциальная и тепловая энергия частиц.
5. Теоретическая прочность.
6. Напряженное состояние среды. Шаровая и девиаторная составляющие тензора деформаций и напряжений.
7. Главные оси и главные деформации. Интенсивность деформаций и напряжений.
8. Объемная и сдвиговая деформация. Скорость деформации.
9. Понятие «кристаллическая решетка», типы решеток. Связь типа решеток со свойствами материалов.
10. Дефекты кристаллов: точечные, линейные, объемные.
11. Основные положения физической мезомеханики.
12. Понятие дислокационного механизма пластической деформации.
13. Особенности описания деформации на микро-, мезо- и макроуровнях.
14. Реологические модели поведения материалов при деформировании и разрушении.
15.  $\sigma$ - $\epsilon$  диаграммы и способы их получения.
16. Метод Кольского для исследования динамических свойств материалов.
17. Теоретическая прочность периодических структур. Модель Борна.

18. Классические механические теории прочности. Теории предельных состояний.
19. Кинетическая теория прочности Журкова.
20. Линейная механика разрушений (ЛМР). Теория Гриффитса.
21. Трещиностойкость. Методы ее определения.
22. Интегральный подход к ЛМР. Теория Иванова-Грэди.
23. Ударно-волновые эксперименты, основной источник информации о прочности материалов при  $\dot{\epsilon} \geq 10^4 \text{ с}^{-1}$ .
24. Динамический предел текучести и способы его определения.
25. Различные способы создания динамических растягивающих напряжений в материале. Контактный взрыв заряда ВВ.
26. Различные способы создания растягивающих напряжений. Удар пластиной.
27. Различные способы создания растягивающих напряжений. Ионизирующее излучение.
28. Явление откола. Методы оценки откольной прочности.
29. Явление откола. Оценка откольной прочности по регистрирующему профилю скорости свободной поверхности.
30. Явление откола. Факторы определяющие откольную прочность.
31. Существующие подходы расчетно-теоретического описания явления откола. Интегральные критерии.
32. Существующие подходы расчетно-теоретического описания явления откола. Кинетическо-статистический подход.
33. Положительные и отрицательные стороны проявления откола в науке и технике.

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

### **Основная литература:**

1. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. // М., Наука, 1974. 640с.
2. Партон В.З. Механика упругопластического разрушения. // М., Наука, 1974. 416с.
3. Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. Нов-к., Наука, 1985. 229с.
4. Филоненко-Бородич М.М. Механические теории прочности. М. МГУ, 1961, 92с.
5. Разрушение разномасштабных объектов при взрыве. Под редакцией Иванова А.Г. Саров. 2001, с.481.
6. Механика разрушения деформированного тела. Т.2. Под редакцией Селиванова В.В. МГТУ им Н.Э. Баумана, М., 1999. 419с.

7. Огородников В.А., Пушков В.А., Тюпанова О.А. Основы физики прочности и механики разрушения. Учебное издание. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 2009, 386с.
8. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения твердых тел. Курс лекций. СПб. Профессия, 2002, 320с.

**Дополнительная литература:**

1. Разрушение. Т. I – VII под редакцией Либовица. М. Мир, 1975.
2. Партон В.З., Борисовский В.Г. Динамика хрупкого разрушения. М. Машиностроение. 1988.
3. Панин В.Е. Физические основы мезомеханики пластической деформации и разрушения твердых тел. // Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. Нов-к., наука. 1995, т.1.
4. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения на базе компьютерных технологий. Практикум. СПб. БХВ-Петербург. 2007. 464с.

**Литература к лабораторным работам:**

1. Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках. Под редакцией Жерноклетова М.В. Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2005, 427с.
2. Исследование динамической прочности конструкционных материалов. // Учебное пособие. Под редакцией Новикова С.А. Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2003, 137с.

**8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Аудитории СарФТИ, лабораторное оборудование кафедры ТиЭМ ФТФ СарФТИ и уникальные установки ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению 15.03.03 Прикладная механика.

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

В.А. Огородников

**Рецензент:** заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов