

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»**

**Физический факультет**

(факультет / институт / филиал)

**УТВЕРЖДЕНО**

**Решением ученого совета ННГУ**

**протокол от**

**«30» ноября 2022 г. №13**

## **Рабочая программа дисциплины**

### **Механика деформируемого твердого тела**

(наименование дисциплины (модуля))

### **Уровень высшего образования**

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

### **Направление подготовки**

**03.04.02 - Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

### **Направленность образовательной программы**

**Физика конденсированного состояния**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

### **Квалификация (степень)**

**магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

### **Форма обучения**

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

**Нижегород - 2023 год**

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» (Б1.В.ДВ.04.03) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП. Дисциплина является дисциплиной выбора и изучается на 2 курсе магистратуры, в 3 семестре.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Блок 1. Дисциплины (модули). Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.04.03 относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП направления подготовки 03.04.02 Физика

Целями освоения дисциплины являются:

- научить описывать явления, протекающие в металлах и сплавах, а также в конструкциях, изготовленных из них, при деформационно-температурном воздействии в условиях высокоскоростного нагружения языке механики деформируемого твердого тела;
- научить описывать явления, протекающие в металлах и сплавах, а также в конструкциях, изготовленных из них, в ходе процесса усталости на языке механики деформируемого твердого тела;
- научить эффективному использованию знаний в области механики деформируемого твердого тела и, в частности, раздела механика разрушения для решения практических задач по оценке состояния образцов, элементов конструкций и конструкций, выполненных из новых и перспективных материалов в условиях процесса усталости и в условиях высокоскоростного импульсного нагружения;
- научить составлять рекомендации (предписания), позволяющие подбирать методы и способы описания поведения материалов при их изготовлении и в процессе эксплуатации в конструкциях;
- научить студентов использовать теоретические знания в области физики металлов и сплавов для решения практических задач (экспериментальных исследований), связанных с изучением особенностей деформирования образцов и конструкций из современных металлических материалов;
- выработать первичные навыки эффективной практической работы в современных пакетах прикладных программ, предназначенных для описания поведения изделий из материалов в условиях импульсного высокоскоростного нагружения;
- выработать углубленные навыки анализа результатов численного эксперимента, получаемых при исследовании сложных многофакторных физических процессов.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной	ПК-1.1 Знание принципов построения научной работы, методов сбора и анализа полученного материала	<u>Знать:</u> 31: Знать теоретические основы механики деформируемого твердого тела и методов моделирования задач разрушения и развитого формоизменения в механике	Собеседование

аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта		сплошных сред. 32: Знать теоретические основы оценки сопротивления усталости и методов моделирования задач сопротивления усталости в механике сплошных сред. 33: Знать методы численного моделирования задач развитого формоизменения и разрушения при различных скоростях нагружения, необходимые для получения новых знаний и решения задач в области проектирования перспективных материалов.	Собеседование  Собеседование
	ПК-1.2 Уметь осуществлять постановку и проведение экспериментов с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	У1: Уметь анализировать и обосновывать выбор оптимального решения задач механики квазистатического разрушения, разрушения в условиях импульсного нагружения и связанных задач с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH.	Собеседование Практические задания Задачи
	ПК-1.3 Навыки решения поставленных задач с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	В1: Владеть опытом решения задач о развитом формоизменении в рамках метода конечных элементов с использованием метода адаптивных сеток в программном комплексе ANSYS WORKBENCH. В2: Владеть опытом постановок задач механики разрушения и развитого формоизменения с использованием численных дискретных моделей, построенных на основе метода конечных элементов. В3: Владеть способами постановок задач развитого формоизменения в рамках метода конечных элементов с применением метода адаптивных сеток в рамках программного комплекса ANSYS WORKBENCH. В4: Владеть способами	Практические задания Задачи  Практические задания Задачи  Практические задания Задачи  Практические

		<p>постановок моделирования связанных задач в рамках программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B5: Владеть способами постановок задач моделирования разрушения тел из хрупких и пластичных материалов при квазистатическом нагружении в рамках метода конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B6: Владеть способами постановок задач моделирования разрушения тел из хрупких и пластичных материалов при импульсном нагружении в рамках метода конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B7: Владеть опытом решения задач моделирования разрушения в условиях квазистатического нагружения тел как из хрупких, так и из пластичных материалов с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p> <p>B8: Владеть опытом решения задач моделирования деформирования и разрушения в условиях импульсного нагружения тел, как из хрупких, так и из пластичных материалов с использованием программного комплекса ANSYS WORKBENCH.</p>	<p>задания Задачи</p> <p>Практические задания Задачи</p> <p>Практические задания Задачи</p> <p>Практические задания Задачи</p> <p>Практические задания Задачи</p>
--	--	--	---

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практикум), 1 час контроль самостоятельной работы), 75 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	3 з.е.
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа, ч	16
- практические занятия, ч	16
самостоятельная работа, ч	75
КСРИФ	2
Промежуточная аттестация	Зачет

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе						Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Всего	
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации			
Тема 1: Дополнительные главы механики разрушения	16	4	4			8	8	
Тема 2: Подходы к численному моделированию процессов деформирования и разрушения	25	6	4			10	15	
Тема 3: Связанные задачи	16	2	4			6	10	
Тема 4: Механика разрушения в условиях импульсного скоростного нагружения	18	4	4			8	10	
В том числе текущий контроль – 1 час								
Промежуточная аттестация - Зачет								

#### **Краткое содержание основных разделов (тем) дисциплины «Механика деформируемого твердого тела»**

##### Тема 1. Дополнительные главы механики разрушения

Нелинейные задачи механики разрушения; усталость: общие определения и положения, рост усталостных трещин, микротрещина и карты усталости, диаграмма Китагавы-Токахаши, диаграмма Миллера, NR модель роста усталостной микротрещины.

Решение задач по различным разделам темы №1.

## Тема 2. Подходы к численному моделированию процессов деформирования разрушения

Метод адаптивных сеток при описании больших пластических деформаций. Способы описания трещин: явные, размазанная трещина; хрупкое разрушение: расширенная модель зоны связности, модель микроплоскостей (Базанта); вязкое разрушение: модель Гурсона; разрушение композитных сред: модель Вилама-Варнке; подход «kill» элемент и применение языка APDL

Решение задач по различным разделам темы №2.

Расчетно-графическая работа по теме №2.

## Тема 3.Связанные задачи

Термоупругие задачи; термопластические задачи (пластическая деформация как источник тепла); влияние распределения напряжений на процесс диффузии в материале. Однозадачный способ моделирования связанных задач: специальные конечные элементы; многозадачный способ описания связанных задач

Решение задач по различным разделам темы №3.

## Тема 4. Механика разрушения в условиях импульсного скоростного нагружения

Модель вязкопластического деформирования Джонсона-Кука; модель вязкопластического деформирования Зерелли-Армстронга; модель вязкопластического деформирования Стейнберга-Гуинана; модель деформирования и разрушения хрупких материалов Джонсона-Холмквиста; общая система уравнений, описывающая поведение материалов в случае импульсного нагружения; основные подходы к моделированию процессов деформирования и разрушения.

Решение задач по различным разделам темы №4.

Расчетно-графическая работа по теме №4.

В процессе изучения дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения лекций, методы научной дискуссии. Лекции и семинарские занятия проводятся с использованием средств мультимедиа.

На практических занятиях применяются технологии интерактивного обучения, выполнение расчетно-графических работ с использованием современных пакетов конечно-элементного анализа, с презентацией полученных результатов (позволяющих получить компьютерные симуляции рассматриваемых физических процессов)

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий, включающих в себя использование современных пакетов конечно-элементного анализа.

В преподавании дисциплины (в части семинаров / практикумов) активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные выводы), а также предложить провести групповое обсуждение рассматриваемой проблемы и придти к единому мнению.

## **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению расчетно-графических работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения проектов (расчетно-графических работ), а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике с установленным программным обеспечением ANSYS WORKBENCH.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

### 5.1 Описание шкал оценивания

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
	Незачтено			Зачтено			
<b>Полнота знаний</b>	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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<b>Наличие умений</b>	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 полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<b>Наличие навыков (владение опытом)</b>	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
<b>Мотивация (личностное отношение)</b>	Полное отсутствие учебной активности и мотивации	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация низкие, слабо выражены, стремление решать задачи качественно	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять нестандартные дополнительные задачи на высоком уровне качества
<b>Характеристика сформированности компетенции</b>	Компетенция в не сформирована. отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые	Компетенция в не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недос-	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имею-	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся

	для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	точно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	щихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных (профессиональных) задач.	знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.
<b>Уровень сформированности компетенций</b>	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий

При промежуточной аттестации студентов на зачете в конце семестра обучения используется традиционная двухбалльная шкала оценивания (выставления оценки («Зачтено», «Незачтено»)), общие критерии выставления оценок по которой определены приказом ректора ННГУ №229-ОД от 10 октября 2002 г.

Зачет суммируется из результатов выполнения теста (пример и шкалы оценивания, которого даны в Приложении 2 к ФОС данной дисциплины) и зачета по выполненному проекту (расчетно-графической работе).

Зачет-незачет по результатам сдачи отчета по проделанной расчетно-графической работе выставляется на основании следующих критериев:

<b>Оценка</b>	<b>Критерий выставления</b>
Зачет	Отчет о проделанной расчетно-графической работе содержит ряд некритических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к расчетно-графической работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по расчетно-графической работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов. В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют.
Незачет	Отчет о проделанной расчетно-графической работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к расчетно-графической работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по расчетно-графической работе) студент демонстрирует полное непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией. В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста расчетно-графических работ других студентов.

При проверке отчета по расчетно-графической работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;



- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных результатов);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;
- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование (текущий контроль);
- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль,);
- индивидуальная или групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- комплексные практические задания (отчеты по расчетно-графическим работам) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- практические контрольные задания повышенной сложности (факультативные задачи или практические задания) (текущий контроль).

Критерии и шкалы оценивания сформированности компетенций приведены в п.2.1 Фонда оценочных средств дисциплины «Основы механики твердого тела».

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Типовые задачи

1. Большая тонкая пластина содержит трещину длиной  $2c_0$ , и подвержена циклу с постоянной амплитудой напряжений, нормальных к трещине, которые изменяются от  $\sigma_{max}$  до  $\sigma_{min}$ . Рост усталостной трещины определяется уравнением  $\frac{dc}{dN} = C[(\Delta K)^2 - (\Delta K_{th})^2]$ . Показать, что количество циклов  $N_c$ , требуемое для роста трещины до нестабильного состояния, задается уравнением  $N_c = \frac{1}{C\pi\Delta\sigma^2} \ln \frac{(K_{Ic}/\sigma_{max})^2 - (\Delta K_{th}/\Delta\sigma)^2}{\pi c_0 - (\Delta K_{th}/\Delta\sigma)^2}$ .
2. Предполагая, что  $\gamma = 1,2$  в соотношении Уиллера, вычислить скорость роста трещины для случая  $c = 2,54$  мм,  $\beta = 3$ ,  $\sigma_{МПа_{max}}$  и  $R = 0,2$ , при условии, что рост трещины описывается уравнением Уолкера с  $C_W = 5 \cdot 10^{-14}$ ,  $m_W = 2$  и  $n_W = 1,6$ , и цикл перегрузки  $\sigma_{МПа_{max}}$  при  $R = 0$ . Также вычислить скорость роста трещины после того, как ее длина увеличится на  $0,0762$  мм после перегрузки. Какова была бы скорость при  $\gamma = 0$ ? Принять зону пластической деформации равной  $\frac{K_{Ic}^2}{6\pi\sigma_T^2}$ , при  $\sigma_T = 482,65$  МПа.
3. Большая тонкая пластина, содержащая трещину, подвержена циклическим напряжениям, нормальным к трещине, и изменяющимся между  $0$  и  $400$  МПа. Определить максимально допустимую длину трещины, которую выдержит пластина при  $K_{Ic} = 90$  МПа $\sqrt{м}$ . При начальной длине трещины  $6$  мм вычислить количество циклов, которое выдерживает пластина.  $C = 10^{-20}$ ,  $m = 3$ .
4. Следующие данные получены из экспериментов по росту трещины при постоянной амплитуде. Трещина центральная  $B = 508$  мм

c, мм	N, циклов	
	$\Delta\sigma = 110,32 \text{ МПа} \quad R = 0$	$\Delta\sigma = 110,32 \text{ МПа} \quad R = 0,2$
2,54	0	0
2,667	1100	2000
38	i	k
39,37	i + 100	k + 170

Для указанных данных определить уравнение Периса для каждого из **R**

- Дана пластина, выполненная из хрупкого материала, с центральным отверстием, находящаяся в условиях растяжения. Известно, что в качестве критерия локального разрушения для материала пластины можно использовать величину максимальной линейной деформации. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH способ для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
- Дана пластина, выполненная из БрБ2 в твердом состоянии, с краевыми выточками, находящаяся в условиях растяжения. Известно, что в качестве критерия локального разрушения для материала пластины можно использовать величину интенсивности напряжений. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH способ для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
- Медный образец растягивается при повышенных температурах. Известно, что в результате разрушения образца поверхность разрушения соответствует вязкому типу и разрушение определялось ростом пор. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
- Стержень из металлокерамического композита работает в условиях двухосного напряженного состояния. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса разрушения данного образца в указанных условиях.*
- Стальной ударник из стали 09Г2С влетает в бесконечно твердую массивную преграду. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса деформирования и разрушения данного образца в указанных условиях*
- В керамическую преграду из  $\text{Al}_2\text{O}_3$  влетает абсолютно твердый ударник. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса деформирования и разрушения данного образца в указанных условиях*
- В цилиндр, выполненный из сплава АМг5, влетает стальной ударник из стали 40Х. *Подобрать в программном комплексе ANSYS WORKBENCH модель для описания развития процесса деформирования и разрушения данного образца в указанных условиях*

#### 5.2.2 Тематика расчетно-графических работ

- Осадка (сжатие) цилиндрического образца из чистой меди на 70 процентов высоты.
- Развитие трещин при индентировании хрупкого материала.
- Моделирование вязкого разрушения материала на примере разрушения медного образца при растяжении в условиях повышенных температур
- Моделирование ударной пробы Шарпи
- Моделирование взаимодействия стального ударника с хрупкой преградой.

#### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

##### а) основная литература

- Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. – 544 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Zenkevich1975ru.djvu>].

2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. 640с. [ 6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Cherepanov1974ru.djvu>].
3. Нотт Дж. Основы механики разрушения. М.: Металлургия, 1978. 256 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Nott1978ru.djvu>].
4. Броек Д. Основы механики разрушения. М.: Высш. шк., 1980. 368 с. [5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Берендеев Н.Н. Методы решения задач усталости в пакете ANSYS WORKBENCH/ Электронное учебно- методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 64 с. [Доступ на сайте ННГУ: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/mrzupaw.doc](http://www.unn.ru/books/met_files/mrzupaw.doc)].
6. Берендеев Н.Н. Сопротивление усталости. Основы. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород, Нижегородский госуниверситет, 2012. – 64 с. [Доступ на сайте ННГУ: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/bnsu.doc](http://www.unn.ru/books/met_files/bnsu.doc)].
7. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошных сред. Практическое руководство. Под ред. А.К. Любимова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. 227 с. [55 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

б) дополнительная литература

1. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир: 1984. – 428 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
2. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. – М.: Мир, 1976. – 464 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Для проведения семинарских занятий и выполнения лабораторных работ со стороны предоставляется доступ к компьютерам с установленным пакетом ANSYS WORKBENCH.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 - Физика и с учетом рекомендаций ООП направленности «Физика конденсированного состояния».

Автор к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. НИФТИ ННГУ Берендеев Н.Н.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Рецензент: зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от «17» ноября 2022 года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

\_\_\_\_\_ / Перов А.А. /